REVISTA

ESPAMCIENCIA

para el agro

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

ISSN-e: 1390-8103

VOLUMEN 12

N°1

ENERO-JUNIO 2021

humanis EDITORIAL

latindex BASE REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico DOAJ MIAR Matriz de Información para el Análisis de Revistas PERIÓDICA Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias OAJI.net Dialnet

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

ASOCIACIÓN ENTRE DOS LÍNEAS GENÉTICAS DE VACAS HOLSTEIN Y LA PÉRDIDA DE GESTACIÓN

ASSOCIATION BETWEEN TWO GENETIC LINES OF HOLSTEIN COWS AND THE PREGNANCY LOSS

Jennifer Gordillo Aldaz[1], Iván Patricio Yánez-Ortiz[2], María Gabriela Arroyo Guarderas[3], Ramiro Fernando Díaz Bolaños[3,4]

[1]Instituto de Reproducción Animal Córdoba, Paraje Pozo del Tigre, Zona General Paz, Córdoba, Argentina.
[2]Departament de Medicina i Cirurgia Animals, Universitat Autònoma de Barcelona, Travessera dels Turons, Bellaterra, España.
[3]Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad San Francisco de Quito, Diego de Robles y Pampite, Cumbayá, Ecuador.
[4]Instituto de Investigaciones en Biomedicina iBioMed, Universidad San Francisco de Quito, Diego de Robles y Pampite, Cumbayá, Ecuador.

Email: rdiaz@usfq.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
14/12/2020

Aceptado:
13/05/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(1):1-7

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.236

Resumen

Con el objetivo de determinar la relación entre las líneas genéticas de Holstein-norteamericano (HNA) y Holstein-neozelandés (HNZ) con la pérdida de gestación entre los 30-60 días posinseminación artificial (dpIA) y, determinar la asociación entre el número de parto, número de servicios por preñez, intervalo entre partos e intervalo parto-preñez y la pérdida de gestación dentro de cada línea genética, se analizaron 403 lactaciones de 140 animales: 168 de 59 HNA y 235 de 81 HNZ. Se escogieron lactaciones de vacas gestantes (30dpIA). La pérdida de gestación se calculó con el resultado de su diagnóstico a los 60 dpIA. Se utilizó una regresión logística binaria para determinar la magnitud de la asociación. La pérdida de gestación se produjo en el 25,81% (104/403) de las lactaciones analizadas: 27,98% (47/168) en vacas HNA y 24,26% (57/235) en vacas HNZ. Las vacas HNA tuvieron 1,21 veces más probabilidades de sufrir pérdida de gestación que las vacas HNZ (P>0,05). Las HNA y HNZ multíparas tuvieron 2,52 y 2,37 veces más probabilidades de sufrir pérdida de gestación que las primíparas (P<0,05), respectivamente. Las vacas con dos o más servicios por preñez presentaron más probabilidades de sufrir pérdida de gestación (2,48 en HNA y 2,18 en HNZ; P<0,05). En conclusión, la línea genética de Holstein no se asoció significativamente con la pérdida de gestación entre los 30-60 dpIA. El número de parto en las vacas multíparas y el número de servicios por preñez (≥2) fueron factores de riesgo para la pérdida de gestación en las dos líneas genéticas.

Palabras clave: Bovinos, fertilidad, lactación, número de parto, odds ratio, número de servicios por preñez.

Abstract

In order to determine the relationship between Holstein-North American (HNA) and Holstein-New Zealand (HNZ) genetic lines with pregnancy loss between 30-60 days post-artificial insemination (dpIA) and, to determine the association between the number of calving, number of services per pregnancy, calving interval and calving-pregnancy interval and the pregnancy loss within each genetic line, 403 lactations of 140 animals were analyzed: 168 of 59 HNA and 235 of 81 HNZ. Lactations of pregnant cows (30dpIA) were chosen. Pregnancy loss was calculated with the result of its diagnosis at 60 dpIA. A binary logistic regression was used to determine the magnitude of the association. Pregnancy loss occurred in 25.81% (104/403) of the lactations analyzed: 27.98% (47/168) in HNA cows and 24.26% (57/235) in HNZ cows. HNA cows were 1.21 times more likely to suffer pregnancy loss than HNZ cows (P>0.05). Multiparous HNA and HNZ were 2.52 and 2.37 times more likely to suffer pregnancy loss than primiparous (P <0.05), respectively. Cows with two or more services per pregnancy were more likely to suffer pregnancy loss (2.48 in HNA and 2.18 in HNZ; P<0.05). In conclusion, the Holstein genetic line was not significantly associated with pregnancy loss between 30-60 dpIA. The number of calving (multiparous) and the number of services per pregnancy (≥2) were risk factors for pregnancy loss in the two genetic lines.

Keywords: Cattle, fertility, lactation, number of calving, odds ratio, number of services per pregnancy.

INTRODUCCIÓN

La elección de la base genética para las zonas de mayor potencial lechero en la serranía ecuatoriana representa un problema práctico, ya que existen diversos criterios entre técnicos y productores sobre las preferencias para la selección de la línea genética ideal dentro de la raza Holstein (Lascano *et al*., 2017). Por un lado, está la línea de Holstein norteamericano (HNA) que ha sido seleccionada por su mayor producción de leche, tamaño corporal y angularidad en un sistema de producción basado en partos durante todo el año y altos niveles de suplementación con concentrados, con poco énfasis en características como la fertilidad (Horan *et al*., 2005; Miglior *et al*., 2005). Por otro lado, está la línea de Holstein neozelandés (HNZ) que ha sido seleccionada por su mayor rendimiento de sólidos lácteos y una mayor fertilidad y supervivencia en un sistema de producción basado en pastos (Harris y Kolver, 2001).

Dentro de la raza Holstein, el objetivo es incrementar la rentabilidad mediante la obtención mejores precios por la leche aumentando la calidad, especialmente de los contenidos sólidos de la leche (Taylor *et al*., 2016). Sin embargo, actualmente se reconoce a la eficiencia reproductiva como un objetivo primordial para incrementar la rentabilidad de los hatos lecheros, debido al impacto económico de la baja fertilidad en la producción de leche (Dezetter *et al*., 2017). Uno de los factores que produce una disminución de la fertilidad es la alta tasa de pérdida de gestación, principalmente si esta ocurre durante los primeros 45-60 días de gestación donde se han reportado pérdidas de hasta el 75% (López-Gatius *et al*., 2004). En este periodo, la pérdida de gestación se ha caracterizado como una combinación entre una pérdida embrionaria tardía (42-50 días) y una pérdida fetal (>50 días) (Committee on Bovine Reproductive Nomenclature, 1972). Existen procesos fisiológicos importantes relacionados con la nutrición embrionaria/fetal, donde la placenta coriovitelina experimenta una involución para ser reemplazada funcionalmente por la placenta corioalantoidea, con lo cual se forman conexiones firmes entre los tejidos maternos y fetales en los placentomas, lo que permite una mayor difusión de nutrientes y gases directamente entre los sistemas circulatorios materno y fetal (Assis Neto *et al*., 2009). Los factores que pueden desencadenar la pérdida de gestación son la placentación inadecuada, la dificultad en la transición de la nutrición vitelina a la alantoidea, las alteraciones en la vascularización de la placenta y el subdesarrollo del embrión/feto (Wiltbank *et al*., 2016).

Los factores de riesgo relacionados con la pérdida de gestación más estudiados son: anomalías en los ovocitos, problemas en el reconocimiento materno de la gestación, anestro posparto prolongado, enfermedades infecciosas, producción de leche, baja condición corporal después del parto, balance energético negativo durante el periodo de transición, edad del animal, número de partos, días de lactancia al momento de la concepción, estrés calórico, la temporada, entre otros (Santos *et al*., 2004; Lee y Kim, 2007; Diskin *et al*., 2015). Además, existen otros factores que pueden provocar la pérdida de gestación como son factores genéticos (raza, familia, consanguinidad y grupos sanguíneos) y factores ambientales (nutrición, edad, infecciones, desequilibrio hormonal y ambiente uterino) (Boyd, 1965; Gábor *et al*., 2008; Diskin et *al*., 2012; Ma *et al*., 2019). En nuestro país no hay estudios realizados en los que la pérdida de gestación se atribuya al factor de raza o a la línea genética dentro de una raza. Los objetivos de este estudio fueron: 1) determinar la asociación entre las líneas genéticas (HNA y HNZ) y la pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la inseminación artificial (IA), y 2) determinar la asociación entre el número de parto, número de servicios por preñez, intervalo entre partos e intervalo parto-preñez y la pérdida de gestación dentro de cada línea genética.

MATERIALES Y MÉTODOS

Declaración ética

El Comité de Bioética para el uso de animales en investigación y enseñanza de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, aprobó los métodos utilizados durante el presente trabajo, de acuerdo con los Estándares de Bienestar Animal y las recomendaciones de Reemplazo, Reducción y Refinamiento en la investigación animal, propuestas por Russell y Burch (1959). Número de aprobación: 2020-005.

Recopilación de datos

Los datos desde el 01 de enero de 2014 hasta el 31 de diciembre de 2018 se recopilaron de un hato lechero comercial ubicado en la parroquia Asunción de Alóag, cantón Mejía, provincia de Pichincha, Ecuador, a una altura de 2.762 msnm. La base de datos estuvo constituida por un total de 403 lactaciones correspondientes a 140 vacas Holstein, de las cuales 168 lactaciones fueron pertenecientes a 59 vacas HNA y 235 lactaciones a 81 vacas HNZ. Solo se eligieron las lactaciones de vacas que hayan tenido al menos un parto (primíparas), que hayan sido diagnosticadas como preñadas a los 30 días después de la IA mediante ultrasonografía transrectal y que tuvieran un periodo de espera voluntario de al menos 45 días desde el último parto hasta la primera IA. La información recogida del software ganadero (DairyLive®, New Richmond, WI, USA) utilizado en el hato para cada animal fue: identificación individual, línea genética, número de parto, número de servicios por preñez, fecha de gestación, fecha de parto y diagnóstico de gestación a los 60 días después de la IA (preñada o vacía). Las líneas

genéticas de las vacas estuvieron determinadas por el origen del material genético del padre (norteamericano o neozelandés). La tasa de pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la IA se calculó como el cociente entre el número de lactaciones de vacas vacías al día 60 y el número de lactaciones de vacas preñadas al día 30, multiplicado por 100.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el procedimiento logístico (PROC LOGISTIC) del paquete estadístico SAS (2013), excluyendo del modelo estadístico factores de riesgo para la pérdida de gestación como la producción de leche y las enfermedades infecciosas. El diagnóstico de gestación a los 60 días después de la IA se ingresó en el modelo como una variable dicotómica dependiente (donde 1 denota preñada y 0 denota vacía). La línea genética (HNA y HNZ), el número de parto (primíparas y multíparas), el número de servicios por preñez (uno y dos o más), el intervalo entre partos (menos y más de 425 días) y el intervalo parto-preñez (menos y más de 134 días) en la pérdida de gestación se consideraron como variables independientes de clasificación en los análisis. Los coeficientes y la distribución aproximada de Chi-cuadrado de la estadística de Wald se utilizaron para calcular los odds ratios con intervalos de confianza (IC) del 95%. Los valores de P<0,05 se consideraron estadísticamente diferentes. Se tomó como referencia el procedimiento descrito por Garcia-Ispierto y López-Gatius (2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 403 lactaciones analizadas, el 25,81% (104/403) resultaron en pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la IA, de las cuales el 27,98% (47/403) correspondieron a la línea genética de HNA y el 24,26% (57/403) a la línea genética de HNZ. El Cuadro 1 muestra que, de acuerdo a lactaciones, las vacas HNA tuvieron 1,21 veces más probabilidades de sufrir pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la IA que las vacas HNZ (P>0,05). El intervalo de confianza del odds ratio osciló entre 0,77 y 1,90, lo que establece que no existió una asociación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95% entre las dos líneas genéticas de vacas Holstein y la pérdida de gestación. En otras palabras, la línea genética en esta raza no representa un factor de riesgo asociado a la pérdida de gestación.

Cuadro 1. Odds ratio de la pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la inseminación artificial (IA) en el modelo de regresión logística binaria para las lactaciones de vacas Holstein Norteamericanas (HNA) y Holstein Neozelandesas (HNZ) (n=403).

Factor	Línea genética	Pérdidas de gestación	Odds ratio	Intervalo de confianza 95%	Valor P
Pérdida de gestación	HNA	27,98% (47/168)	1,21	0,77-1,90	0,40
	HNZ	24,26% (57/235)		Referencia	

HNA: Holstein norteamericano, HNZ: Holstein neozelandés.

En el Cuadro 2 se muestran los odds ratios encontrados entre el número de parto, número de servicios por preñez, intervalo entre partos e intervalo parto-preñez y la pérdida de gestación dentro de cada línea genética. La tasa de pérdida de gestación entre los 30-60 días después del a IA fue significativamente mayor en las vacas multíparas (≥2 partos) de ambas líneas genéticas (33,94% en HNA y 29,22% en HNZ) en comparación con las vacas primíparas (1 parto). El número de parto afectó significativamente la tasa de pérdida de gestación en las dos líneas genéticas, siendo las vacas HNA 2,52 y las vacas HNZ 2,37 veces más propensas a sufrir pérdida cuando han parido dos o más veces que las que han tenido un solo parto. El número de servicios por preñez presentó resultados similares para ambas líneas genéticas, encontrándose que las mayores pérdidas de gestación ocurrieron en vacas que han tenido dos o más servicios por preñez (35,87% en HNA y 29,58% en HNZ) en relación a las que resultaron preñadas después de un solo servicio. Por lo tanto, estas vacas tuvieron más probabilidades de sufrir pérdida de gestación (P<0,05), siendo que los animales HNA con dos o más servicios por preñez tuvieron prácticamente 2,5 veces más probabilidades de perder la gestación, mientras que los animales HNZ con dos o más servicios por preñez presentaron más del doble (2,18) de probabilidades de sufrir pérdida de gestación en comparación con las vacas que recibieron un solo servicio por preñez. El promedio del número de servicios por preñez fue de 1,96 para la línea genética de HNA y 1,97 la línea genética de HNZ. El intervalo entre partos y el intervalo parto-preñez no mostraron diferencia significativa en la pérdida de gestación en las dos líneas genéticas. Sin embargo, en ambos casos, la tasa de pérdida de gestación fue mayor en las vacas que presentaron un intervalo entre partos y un intervalo parto-preñez superior al promedio del hato (425 días y 134 días, respectivamente).

Cuadro 2. Odds ratios de la pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la inseminación artificial (IA) según número de parto, número de servicios por preñez, intervalo entre partos e intervalo parto-preñez dentro de cada línea genética de Holstein.

Factor	Línea genética	Categoría	Pérdidas de gestación	Odds ratio	Intervalo de confianza 95%	Valor P
Número de parto	HNA (n=168)	Primíparas	16,95% (10/59)		Referencia	
		Multíparas	33,94% (37/109)	2,52	1,15-5,53	0,02
	HNZ (n=235)	Primíparas	14,81% (12/81)		Referencia	
		Multíparas	29,22% (45/154)	2,37	1,17-4,80	0,02
Número de servicios por preñez	HNA (n=168)	1	18,42% (14/76)		Referencia	
		≥2	35,87% (33/92)	2,48	1,21-5,09	0,01
	HNZ (n=235)	1	16,13% (15/93)		Referencia	
		≥2	29,58% (42/142)	2,18	1,13-4,22	0,02
Intervalo entre partos	HNA (n=82)	<425	31,48% (17/54)		Referencia	
		>425	46,43% (13/28)	1,89	0,74-4,82	0,19
	HNZ (n=122)	<425 días	33,33% (26/78)		Referencia	
		>425 días	36,36% (16/44)	1,14	0,53-2,48	0,74
Intervalo parto-preñez	HNA (n=104)	<134 días	34,33% (23/67)		Referencia	
		>134 días	35,14% (13/37)	1,04	0,45-2,41	0,93
	HNZ (n=149)	<134 días	26,04% (25/96)		Referencia	
		>134 días	37,74% (20/53)	1,72	0,84-3,53	0,14

HNA: Holstein Norte Americano, HNZ: Holstein Neozelandés.

La probabilidad de pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la IA no difiere significativamente entre las dos líneas genéticas de Holstein y tampoco representan un factor de riesgo en este estudio (Cuadro 1). Esto es contrario a lo que ha sido estudiado previamente por Macdonald *et al*. (2008), en donde encontraron que una razón para que la tasa de preñez sea menor puede deberse a una mayor pérdida embrionaria o fetal. También, los hallazgos reportados por Dillon *et al*. (2006), muestran que las diferencias más bajas pronosticadas en las tasas de preñez en el primer servicio y el mayor número de servicios por vaca pueden atribuirse parcialmente a una mayor tasa de pérdida de gestación. Al aumentar el número de servicios por preñez, la probabilidad de pérdida de gestación aumenta, como se muestra en este estudio, lo que podría ser un factor de riesgo (Cuadro 2).

La tasa de pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la IA obtenida en este estudio (25,81%) es superior a lo reportado por Miranda *et al*. (2019), quienes en el mismo periodo encontraron que un 12% de vacas de un hato lechero comercial de la provincia de Pichincha perdieron la gestación, cuyas causa principal se asocia a un cierto grado de infección en la ubre (mastitis). En estudios realizados en otros países, se han registrado tasas de pérdida de gestación de 10,2% hasta 13,5% entre los 28-75 días de gestación (Fricke *et al*., 1998; Gümen *et al*., 2003; Rivera *et al*., 2004; Santos *et al*., 2009). Asimismo, dentro de cada línea genética, se obtuvieron tasas de pérdida de gestación (27,98% en HNA y 24,26% en HNZ) superiores a las descritas por McDougall *et al*. (2005), quienes reportan que las pérdidas de gestación en la línea genética Neozelandesa son inferiores a las registradas en el hemisferio norte para la línea genética Norteamericana, con tasas de pérdida de gestación de 6,4% y de 12,8% entre los días 28-50 de gestación, respectivamente.

Desde mediados de la década de los años 1980, se estableció que la lactancia constituye un estado fisiológico que se asocia con una reducción de la eficiencia reproductiva (Badinga *et al*., 1985). En este sentido, las altas tasas de pérdida de gestación obtenidas en este estudio podrían atribuirse a los altos niveles de producción de leche que tiene el hato, el cual en promedio fue de 20,94 litros/vaca/día, siendo muy superior a la media nacional (6,65 litros/vaca/día) y alcanzando el doble de la media de la provincia de Pichincha (10,84 litros/vaca/día) (INEC, 2019), debido a que altos volúmenes de leche estarían asociados con un apoyo luteotrófico local inadecuado y una menor tasa de metabolización de la progesterona ovárica, la hormona responsable del mantenimiento de la gestación (Wiltbank *et al*., 2014; Miura, 2019). Walsh *et al*. (2011), encontraron que un alto volumen de producción de leche tiene un efecto negativo en la vaca, reflejado entre las 4-8 semanas después del parto, debido a una condición corporal baja, causada por un balance energético negativo, lo que retrasa la primera ovulación posparto. Desafortunadamente, la falta de información sobre la producción de leche en el momento de la pérdida de

gestación no permitió una evaluación adecuada de esta afirmación.

De acuerdo con Thatcher y Santos (2013), otra posible razón para que se produzca pérdida de gestación se relaciona con los eventos metabólicos que ocurren después del parto. En el período posparto, las vacas lactantes entran en un balance energético negativo, en el que el consumo de energía no es capaz de sostener por completo la producción de leche. En este período, la glucosa producida se obtiene principalmente del torrente sanguíneo y es utilizada por la glándula mamaria para producir lactosa, lo que provoca una reducción en la disponibilidad de glucosa para un adecuado desarrollo fetal y placentario (Wathes *et al*., 2007).

El número de parto de las vacas se relacionó positivamente con la pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la IA en las dos líneas genéticas en este estudio (Cuadro 2), siendo que la incidencia de pérdida de gestación fue significativamente mayor en las vacas que tienen más de dos partos (multíparas) en comparación con aquellas que solo han parido una vez (primíparas), lo que coindice con los resultados encontrados por otros autores que informaron que la pérdida de gestación aumentó después del tercer parto (Thurmond *et al*., 1990; Humblot, 2001; Lee y Kim, 2007). De esto se deduce que la edad de la vaca interfiere con el mantenimiento del embrión en el útero y, por tanto, con el mantenimiento de la gestación (Vanroose *et al*., 2000). Esto se debe probablemente a que los animales adultos tienen una menor actividad folicular con una menor calidad de ovocitos, lo que resulta en una menor capacidad de desarrollo de los embriones. Los datos del estudio realizado por Santos *et al*. (2009), demuestran que las vacas multíparas tienen una tasa de pérdida de preñez del 17,2% en comparación con las primíparas, que registran casi la mitad (8,7%) entre los 30-58 días de gestación, siendo muy similares a los resultados obtenidos en este estudio en las dos líneas genéticas. También se ha demostrado que la calidad del endometrio se deteriora a medida que el animal envejece y que existe un nivel basal de mortalidad embrionaria, principalmente asociada a defectos genéticos que pueden ser heredados o adquiridos (Diskin y Morris, 2008).

El intervalo entre partos y el intervalo entre parto-preñez no fueron significativamente diferentes en la pérdida de gestación entre los 30-60 días después de la IA en las dos líneas genéticas de Holstein en este estudio (Cuadro 2), lo que también puede explicar por qué no hubo diferencia en el odds ratio entre las líneas genéticas (HNA y HNZ) y la pérdida de gestación. La pérdida de gestación contribuye a extender los intervalos entre parto y parto-preñez en todos los sistemas de manejo reproductivo (Bamber *et al*., 2009), aunque están asociados con la pérdida de gestación cuando se da una extensión de 80 días desde el primer servicio hasta la preñez y una extensión de 77 días en el intervalo entre partos sobre el promedio del hato (Fourichon *et al*., 2000).

Como se mencionó anteriormente, a pesar de que la raza se considera un factor de origen genético que puede estar relacionado con la pérdida de gestación, no existen estudios que apoyen esta teoría. A modo de ejemplo, Humblot y Denis (1986), informan que el retorno al estro de las vacas servidas es causado por un efecto del padre, pero sin evidencia genotípica o fenotípica. López-Gatius *et al*. (2002), encontraron que el material genético de un reproductor en particular utilizado para inseminación artificial en bovinos puede determinar que las vacas tengan 3,4 veces más probabilidades de sufrir pérdida de gestación entre los 38-90 días, siendo un factor de riesgo a considerar en la pérdida de gestación. No obstante, en el trabajo efectuado por Miguel *et al*. (2017) se encontraron diferencias significativas en función de la raza, al comparar las pérdidas de gestación en vacas Holstein argentinas versus vacas HNZ y versus vacas de la cruza entre HNZ con Jersey, que podrían ser comparables a lo de este estudio.

CONCLUSIONES

La línea genética de Holstein no se asoció estadísticamente con la pérdida de gestación entre 30-60 días después de la inseminación artificial (IA). El número de parto (multíparas) y el número de servicios por preñez (≥2) fueron factores de ries go para la pérdida de gestación en vacas Holstein norteamericano (HNA) y en Holstein neozelandés (HNZ). Se necesitan más estudios que incluyan un mayor número de lactaciones y animales para corroborar los resultados obtenidos.

LITERATURA CITADA

Assis Neto, A. C., Pereira, F. T. V., Santos, T. C., Ambrosio, C. E., Leiser, R., y Miglino, M. A. 2009. Morpho-physical recording of bovine conceptus (*Bos indicus*) and placenta from days 20 to 70 of pregnancy. Reprod. Domest. Anim., 45(5): 760–772.

Badinga, L., Collier, R. J., Thatcher, W. W., y Wilcox, C. J. 1985. Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. J. Dairy Sci., 68(1): 78–85.

Bamber, R. L., Shook, G. E., Wiltbank, M. C., Santos, J. E. P., y Fricke, P. M. 2009. Genetic parameters for anovulation and pregnancy loss in dairy cattle. J. Dairy Sci., 92(11): 5739–5753.

Boyd, H. 1965. Embryonic death in cattle, sheep and pigs. Vet. Bull. Weybridge, 35: 251–266.

Committee on Bovine Reproductive Nomenclature. 1972. Recommendations for standardizing bovine reproductive terms. Cornell Vet., 62(2): 216–237.

Dezetter, C., Bareille, N., Billon, D., Côrtes, C., Lechartier, C., y Seegers, H. 2017. Changes in animal performance and profitability of Holstein dairy operations after introduction of crossbreeding with Montbéliarde, Normande, and Scandinavian Red. J. Dairy Sci., 100(10): 8239–8264.

Dillon, P., Berry, D. P., Evans, R. D., Buckley, F., y Horan, B. 2006. Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production. Livest. Sci., 99(2–3): 141–158.

Diskin, M. G., y Morris, D. G. 2008. Embryonic and early foetal losses in cattle and other ruminants. Reprod. Domest. Anim., 43: 260–267.

Diskin, M. G., Parr, M. H., y Morris, D. G. 2012. Embryo death in cattle: an update. Reprod. Fertil. Dev., 24(1): 244-251.

Diskin, M. G., Waters, S. M., Parr, M. H., y Kenny, D. A. 2015. Pregnancy losses in cattle: potential for improvement. Reprod. Fertil. Dev., 28(2): 83–93.

Fourichon, C., Seegers, H., y Malher, X. 2000. Effect of disease on reproduction in the dairy cow: a meta-analysis. Theriogenology, 53(9): 1729–1759.

Fricke, P. M., Guenther, J. N., y Wiltbank, M. C. 1998. Efficacy of decreasing the dose of GnRH used in a protocol for synchronization of ovulation and timed AI in lactating dairy cows. Theriogenology, 50(8): 1275–1284.

Gábor, G., Tóth, F., Ózsvári, L., Abonyi-Tóth, Z., y Sasser, R. G. 2008. Factors influencing pregnancy rate and late embryonic loss in dairy cattle. Reprod. Domest. Anim., 43(1): 53–58.

Garcia-Ispierto, I., y López-Gatius, F. 2019. Abortion in dairy cattle with advanced twin pregnancies: incidence and timing. Reprod. Domest. Anim., 54(Suppl. 4): 50–53.

Gümen, A., Guenther, J. N., y Wiltbank, M. C. 2003. Follicular size and response to ovsynch versus detection of estrus in anovular and ovular lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 86(10): 3184–3194.

Harris, B. L., y Kolver, E. S. 2001. Review of Holsteinization on intensive pastoral dairy farming in New Zealand. J. Dairy Sci., 84(E. Suppl.): E56–E61.

Horan, B., Dillon, P., Faverdin, P., Delaby, L., Buckley, F., y Rath, M. 2005. The interaction of strain of Holstein-Friesian cows and pasture-based feed systems on milk yield, body weight, and body condition score. J. Dairy Sci., 88(3): 1231–1243.

Humblot, P. 2001. Use of pregnancy specific proteins and progesterone assays to monitor pregnancy and determine the timing, frequencies and sources of embryonic mortality in ruminants. Theriogenology, 56(9): 1417–1433.

Humblot, P., y Denis, J. B. 1986. Sire effects on cow fertility and late embryonic mortality in the montbeliard breed. Livest. Prod. Sci., 14(2): 139–148.

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, EC). 2019. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2019. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion de los principales resultados ESPAC 2019.pdf

Lascano, P., Arcos, C., Guevara, R., Torres, C., Guevara, G., Serpa, G., Curbelo, R., y Pedraza, R. 2017. Respuesta productiva de vacas lecheras neozelandesas sometidas a pastoreo rotacional en el trópico alto del norte de Ecuador. Maskana, 8: 153–155.

Lee, J. I., y Kim, I. H. 2007. Pregnancy loss in dairy cows: the contributing factors, the effects on reproductive performance and the economic impact. J. Vet. Sci., 8(3): 283–288.

López-Gatius, F., Santolaria, P., Yániz, J. L., Garbayo, J. M., y Hunter, R. H. F. 2004. Timing of early foetal loss for single and twin pregnancies in dairy cattle. Reprod. Domest. Anim., 39(6): 429–433.

López-Gatius, F., Santolaria, P., Yániz, J., Rutllant, J., y López-Béjar, M. 2002. Factors affecting pregnancy loss from gestation day 38 to 90 in lactating dairy cows from a single herd. Theriogenology, 57(4): 1251–1261.

Ma, L., Cole, J. B., Da, Y., y VanRaden, P. M. 2019. Symposium review: genetics, genome-wide association study, and genetic improvement of dairy fertility traits. J. Dairy Sci., 102(4): 3735–3743.

Macdonald, K. A., Verkerk, G. A., Thorrold, B. S., Pryce,

J. E., Penno, J. W., McNaughton, L. R., Burton, L. J., Lancaster, J. A. S., Williamson, J. H., y Holmes, C. W. 2008. A comparison of three strains of Holstein-Friesian grazed on pasture and managed under different feed allowances. J. Dairy Sci., 91(4): 1693–1707.

McDougall, S., Rhodes, F. M., y Verkerk, G. A. 2005. Pregnancy loss in dairy cattle in the Waikato region of New Zealand. N. Z. Vet. J., 53(5): 279–287.

Miglior, F., Muir, B. L., y Van Doormaal, B. J. 2005. Selection indices in Holstein cattle of various countries. J. Dairy Sci., 88(3): 1255–1263.

Miguel, B., Casaro, G., y Daglio, M. C. 2017. Cuantificación de pérdidas de gestación entre los días 35-100 en vacas de tambo de la Cuenca Mar y Sierras. Tesis. Ciencias Veterinarias. UNCPBA. Tandil-Buenos Aires. AR. p 14–17.

Miranda, S., Albuja, C., y Tríbulo, H. 2019. Asociación entre la mastitis subclínica con la pérdida temprana de gestación en un hato de vacas lecheras. La Granja Rev. Ciencias La Vida, 30(2): 48–56.

Miura, R. 2019. Physiological characteristics and effects on fertility of the first follicular wave dominant follicle in cattle. J. Reprod. Dev., 65(4): 289–295.

Rivera, H., López, H., y Fricke, P. M. 2004. Fertility of Holstein dairy heifers after synchronization of ovulation and timed AI or AI after removed tail chalk. J. Dairy Sci., 87(7): 2051–2061.

Russell, W. M. S., y Burch, R. L. 1959. The principles of humane experimental technique. London, UK: Methuen.

SAS (Statistical Analysis System). 2013. V 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, Obtenido de: https://support.sas.com/software/94/

Santos, J. E. P., Rutigliano, H. M., y Sá Filho, M. F. 2009. Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. Anim. Reprod. Sci., 110(3–4): 207–221.

Santos, J. E. P., Thatcher, W. W., Chebel, R. C., Cerri, R. L. A., y Galvão, K. N. 2004. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs. Anim. Reprod. Sci., 82–83: 513–535.

Taylor, J. F., Taylor, K. H., y Decker, J. E. 2016. Holsteins are the genomic selection poster cows. Proc. Natl. Acad. Sci., 113(28): 7690–7692.

Thatcher, W. W., y Santos, J. E. P. 2013. Nuevas estrategias para prevenir la mortalidad embrionaria en el ganado lechero. Taurus, 57: 4–25.

Thurmond, M. C., Picanso, J. P., y Jameson, C. M. 1990. Considerations for use of descriptive epidemiology to investigate fetal loss in dairy cows. J. Am. Vet. Med. Assoc., 197(10): 1305–1312.

Vanroose, G., de Kruif, A., y Van Soom, A. 2000. Embryonic mortality and embryo-pathogen interactions. Anim. Reprod. Sci., 60–61: 131–143.

Walsh, S. W., Williams, E. J., y Evans, A. C. O. 2011. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. Anim. Reprod. Sci., 123(3–4): 127–138.

Wathes, D. C., Fenwick, M., Cheng, Z., Bourne, N., Llewellyn, S., Morris, D. G., Kenny, D., Murphy, J., y Fitzpatrick, R. 2007. Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. Theriogenology, 68(Suppl. 1): S232–S241.

Wiltbank, M. C., Baez, G. M., Garcia-Guerra, A., Toledo, M. Z., Monteiro, P. L. J., Melo, L. F., Ochoa, J. C., Santos, J. E. P., y Sartori, R. 2016. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. Theriogenology, 86(1): 239–253.

Wiltbank, M. C., Souza, A. H., Carvalho, P. D., Cunha, A. P., Giordano, J. O., Fricke, P. M., Baez, G. M., y Diskin, M. G. 2014. Physiological and practical effects of progesterone on reproduction in dairy cattle. Animal, 8(s1): 70–81.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

RECAMBIO DE AGUA, SU EFECTO SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y CRECIMIENTO EN JUVENILES DE TILAPIA ROJA

WATER REPLACEMENT, ITS EFFECT ON PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS AND GROWTH IN RED TILAPIA JUVENILES

Deyanira Rivas Salazar[1]; Ramón Silva-Acuña[2]; Renny Barrios Maestre[3]; Adrianyela Noriega Salazar[1]

[1]Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, Escuela de Zootecnia, Departamentos de Nutrición Animal y Forrajes, y Producción e Industria Animal, Venezuela.
[2]Universidad de Oriente, Postgrado de Agricultura Tropical, *Campus* Juanico, Maturín, Monagas, Venezuela.
[3]Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro de Investigaciones Agrícolas del estado Monagas, Venezuela.

Email: drramonsilvaa@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
04/01/2021

Aceptado:
13/05/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(1):8-16

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.260

Resumen

Se evaluó el efecto de las tasas de recambio sobre las características físico-químicas del agua, rendimiento productivo y modelo de ajuste de crecimiento de juveniles de tilapia roja (*Oreochromis* spp.). Se utilizaron 15 acuarios de 53 L con 10 juveniles cada uno bajo los siguientes tratamientos; recambio de agua 25% diario, 50% cada 7 días y sin recambio, cada tratamiento con 5 réplicas, en el diseño completamente aleatorizado. Los acuarios fueron colmados con agua proveniente de tanques de cultivo de peces del laboratorio. Se utilizaron 150 juveniles entre 6 y 8 cm de longitud total, alimentados a una tasa de 8% de la biomasa. Los peces se distribuyeron de manera aleatoria en grupos de diez por acuario o unidad experimental. Se cuantificaron las variables masa y longitud total; se midió la temperatura, el oxígeno disuelto, pH, amonio no ionizado y nitratos en el agua de los acuarios y sus valores comparados por la prueba LSD ($p \leq 0,05$); de manera similar, se evalúo el grado de ajuste de la masa y longitud con diferentes modelos de crecimiento. Se concluyó que el recambio diario de 25% del agua favoreció el crecimiento de los juveniles de tilapia roja, en masa y longitud final de 12,16 g y 8,81 cm, respectivamente. De manera similar, en este tratamiento se observó los menores valores promedios de temperatura y nitratos, y los más elevados de oxígeno disuelto y amonio no ionizado. El modelo exponencial presentó el mejor ajuste para la masa y longitud total de los juveniles de tilapia roja.

Palabras clave: Recambio de agua, características físico-químicas, modelos de crecimiento, *Oreochromis* spp.

Abstract

The effect of the exchange rates on the physical-chemical characteristics of the water, productive performance and growth adjustment model of juvenile red tilapia (*Oreochromis* spp.) was evaluated. Fifteen 53 L aquariums with 10 juveniles each were used under the following treatments; water exchange 25% daily, 50% every 7 days and without replacement, each treatment with 5 replicates, in the completely randomized design. The aquariums were filled with water from the laboratory's fish culture tanks. 150 juveniles between 6 and 8 cm in total length were used, fed at a rate of 8% of the biomass. The fish were randomly distributed in groups of ten per aquarium or experimental unit. The variables mass and total length were quantified; the temperature, dissolved oxygen, pH, non-ionized ammonium and nitrates in the aquarium water were measured and their values compared by the LSD test ($p \leq 0.05$); similarly, the degree of fit of the mass and length was evaluated with different growth models. It was concluded that the daily change of 25% of the water favored the growth of the red tilapia juveniles, in mass and final length of 12,16 g and 8,81 cm, respectively. Likewise, in this treatment, the lowest average values of temperature and nitrates were observed, and the highest values of dissolved oxygen and non-ionized ammonium. The exponential model presented the best fit for the mass and total length of the red tilapia juveniles.

Keywords: Water exchange, physical-chemical characteristics, growth models, Oreochromis spp.

INTRODUCCIÓN

La tilapia roja es un pez teleósteo perteneciente a la familia de los cíclicos, producto del cruce de cuatro especies de tilapia, tres de origen africano y una cuarta israelita: *Oreochromis niloticus x Oreochromis mossambicus x Oreochromis urolepis hornorum x Oreochromis aureus* (Beveridge y McAndrew 2001; Castillo, 2001). Está considerada dentro del grupo de peces dulce acuícolas con mayor futuro en cultivos comerciales de climas cálidos, por el rápido crecimiento y la alta adaptabilidad a diferentes ambientes de producción, facilidad de reproducción y crecimiento en cautiverio.

En su uso como alimento para humanos, la tilapia proporciona prolongación en la sensación de saciedad; no posee residuos de mercurio, contiene DHA –el ácido decosahexaenoico, desarrolla el sistema nervioso central, mejora la circulación sanguínea, disminuye los niveles de colesterol, y ralentiza el deterioro cognitivo–, elevado aporte proteico –cada 100g consumidos aportan 20g de proteína–, protege la salud cardiovascular, mejora la digestión –por la calidad de la proteína–, previene la anemia –aunque con bajo contenido de hierro posee vitaminas del complejo B, magnesio y zinc–, en consecuencia, ayuda a mantener un peso saludable (Betancourth, 2020).

Por otro lado, para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) y otras especies, las características físico-químicas del agua representan un factor fundamental para el crecimiento, por estas razón es necesario su monitoreo continuo y la aplicación de técnicas de manejo que mantengan en buenas condiciones y garanticen el desarrollo de los peces. En este aspecto, una de las labores de manejo más eficientes es el recambio del agua, con la finalidad de disminuir los compuestos tóxicos del ambiente, mantener la calidad del agua y sustituir las pérdidas por evaporación.

Con respecto a las tasas de recambio, Buxade (1997) recomienda, de acuerdo a la intensidad del sistema, aplicar en producción extensiva un recambio de agua de 5-10%, en sistemas semi intensivos debe ser una tasa de recambio de 10-20% y por último en sistemas de producción intensivos, conviene aplicar un recambio diario de agua del 90-100%. Por su parte Perdomo *et al*. (2012) consideran que en cultivo de tilapias es necesaria una renovación del 25% diario para favorecer la oxigenación y mantener la calidad del agua.

Boyd (2004) define la calidad del agua como el conjunto de las variables físicas y químicas que influyen en la producción de especies acuáticas; siendo que, las prácticas de manejo de cultivo de peces tienen como objetivo mantener esas variables en el rango adecuado. La temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio no ionizado y el nitrato son elementos determinantes de las buenas condiciones del agua y del crecimiento de los peces. Por otro lado, Salazar y Flores (2015) hacen referencia a ciertos parámetros ideales para la especie que son descritos en el cuadro 1. Estos parámetros físico-químicos, deben ser cuantificados en las instalaciones de piscicultura.

El crecimiento de los peces es el incremento en longitud o masa, como resultado directo de procesos químicos, osmóticos y otros factores que contribuyen al aporte de material en el organismo, el cual es transferido a muchas partes del cuerpo (Tresierra y Culquichicón 1993). Los procesos de crecimiento de los peces difieren de los mamíferos y de las aves, ya que los peces responden con mayor sensibilidad a las diferencias ambientales, incluyendo la disponibilidad de biomasa, la densidad de población y la temperatura, tanto en condiciones naturales como artificiales; así mismo, si el espacio disponible y alimento no son limitantes, los peces pueden seguir creciendo a lo largo de toda su vida (Weatherley y Gill, 1987).

Cuadro 1. Parámetros físico-químicos del agua ideales para el cultivo de tilapias

Parámetro	Rango
Temperatura del agua	Mínima: > 24 °C
Oxígeno disuelto	> 4,5 $mg.L^{-1}$
pH óptimo	6,5 – 9
Visibilidad óptimo	30-45 cm
Dureza ($CaCO_3$)	50-350 ppm
Amonio tóxico NH_3	0,01-0,1 $mg.L^{-1}$
CO_2	< 20 $mg.L^{-1}$
Sulfatos	< 18 $mg.L^{-1}$ 21
Cloruros	< 5 $mg.L^{-1}$
Fosfatos	0.6-1,5 $mg.L^{-1}$
Alcalinidad	0,1-0,2 $mg.L^{-1}$

Fuente: (Salazar y Flores, 2015)

Los modelos que describen el crecimiento, son útiles para resumir matemáticamente el patrón del desarrollo de un organismo o parte de este durante un período de tiempo (León y Barrera, 2003). Resulta de gran importancia emplear más de un modelo cuando se pretende evaluar esa progresión individual en las poblaciones de peces, por ello, es prudente la comparación de distintos ajustes, junto con la aplicación de un criterio de información estadística (Arzola, 2014).

En este sentido, el estudio del agua y de las variaciones de longitud y masa en los peces es importante para formular planes de manejo que contribuyan al desarrollo de los recursos hidrobiológicos que se cultivan, debido a que el crecimiento y desarrollo de ellos guarda una relación directa con aguas de buena calidad, este trabajo de investigación se plantea con el objetivo de evaluar las características físico-químicas del agua y el ajuste de modelos de crecimiento en juveniles de tilapias rojas con

relación a la masa y la longitud, en tratamientos con diferentes tasas de recambio del agua en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Piscicultura, de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, *Campus* Juanico, localizada geográficamente en las coordenadas 9° 45´ LN y 63° 11´ LO, altitud de 65 m, temperatura media anual de 28,27° C, y precipitación total anual de 904 mm (Climate-Data.org, 2020).

Se utilizaron quince acuarios de 53 litros de capacidad previamente lavados y colmados con agua proveniente de tanques de cultivo de peces del laboratorio. A cada acuario se le colocó un sistema de aeración continua a igual profundidad y presión. Se utilizaron 150 juveniles de tilapia roja (n=10 por acuario), cultivados en el laboratorio de piscicultura, con tallas entre 6 y 8 cm de longitud total. Los peces se distribuyeron de manera aleatoria en grupos de diez por acuario. Previo al ensayo se alimentaron a saciedad dos veces al día con alimento balanceado comercial formulado para peces y distribuido por Purina de Venezuela con 25% de proteína cruda y durante el ensayo se alimentaron a una tasa de 8% de la biomasa de cada acuario de acuerdo a lo indicado por Morales (1991).

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: tratamiento 1, recambio parcial diario de 25% del agua de los acuarios; tratamiento 2, recambio parcial, cada 7 días de 50% del agua de los acuarios y, tratamiento 3, sin recambio del agua durante el tiempo de duración del ensayo. En los tratamientos 1 y 2 se aplicó el recambio dirigido, mediante la técnica del sifoneo desde el fondo del acuario, para eliminar restos de alimento no consumido y heces (Marcillo, 2001 y Avnimelech, 2007). Se empleó el diseño completamente aleatorizado con cinco repeticiones. La duración del ensayo fue de 73 días discriminados de la siguiente manera: 10 días en el proceso de selección, 20 días de adaptación al plan de alimentación en dos raciones diarias (mañana y tarde) y 43 días de cultivo. La ración alimenticia fue ajustada cada siete días, para ello se multiplicó la biomasa por el número de peces de la unidad experimental.

Las condiciones físico-químicas del agua (pH, amonio no ionizado y nitrato) se cuantificaron cada siete días. La temperatura se midió diariamente con termómetro marca Aquatic Ecosystems Inc. modelo 407-886-3939. El oxígeno disuelto se determinó siguiendo las instrucciones del método de Winkler modificado (Linares, 2010). El pH, el amonio no ionizado (NH_3) y la concentración de nitratos (NO_3) fueron determinados por colorimetría. El crecimiento (masa y longitud) se determinó registrando la variación semanal de la longitud total y la masa de los peces, retirándolos de los acuarios empleando una red tipo salabre y trasladados a un acuario con agua limpia conectado al sistema de aireación, colocado al lado de la balanza y la tabla de medición. Una vez pesado y medido cada pez se pasaba a otro acuario auxiliar hasta completar el grupo para finalmente devolverlos a la correspondiente unidad experimental. Este procedimiento se aplicó en los tres tratamientos, en aquellos donde hubo recambios de agua se realizaba antes de extraer el agua, el día correspondiente a las mediciones se suspendió la alimentación para evitar estrés por la manipulación. La longitud total se midió desde la parte anterior de la cabeza hasta el extremo del lóbulo superior de la aleta caudal, usando una cinta métrica fijada a una tabla. Para cuantificar la masa, se empleó una balanza analítica Ohaus modelo AX124 de 0,1 mg de precisión.

Al final del ensayo los promedios obtenidos de las medidas biométricas masa y longitud, se expresaron en términos de crecimiento absoluto en masa (CAM) crecimiento absoluto en longitud total (CALT), tasa de crecimiento en masa (TCAM) y tasa de crecimiento absoluto en longitud total (TCAL) siguiendo las fórmulas aplicadas por Luna y Figueroa (2000).

Con estos valores; además, de realizar el respectivo análisis estadístico de estas variables, se emplearon para ajustarlos a la ecuación linealizada de los modelos: exponencial, logístico, gompertz y monomolecular, para describir el crecimiento de juveniles de tilapia roja. Los análisis de varianza se realizaron previo la exploración de los datos por las pruebas de Shapiro Wilk para determinar la normalidad de los errores y de Bartlett para homogeneidad de varianza. La comparación de medias se realizó al 5% de probabilidad por la prueba Mínima Diferencia Significativa (LSD) y los ajustes de la regresión lineal por modelo de crecimiento se realizaron con el Programa Infostat versión 2019 (Di Rienzo *et al*. 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables físico-químicas del agua de cultivo de los peces

En el cuadro 2, se muestra el resumen del análisis de varianza de las características físico-químicas del agua contenida en los acuarios después de 43 días del inicio del experimento. En él se constata que para los tratamientos se observaron diferencias significativas por la prueba de F, para las variables temperatura (TEM); oxígeno disuelto (OD), amonio no ionizado (ANI); y nitratos (NTA), mientras que para los valores de pH no se detectó diferencias a nivel de tratamientos.

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza de las variables, temperatura (°C) (TEM), oxígeno disuelto (mg.L^{-1}) (OD); pH; amonio no ionizado (mg.L^{-1}) (ANI); y nitratos (mg.L^{-1}) (NTA), en el ensayo sobre la tasa de recambio de agua con juveniles de tilapia roja.

Fuente de variación	Gl	TEM	OD	pH	ANI	NTA
Tratamientos	2	1,26**	7,92**	0,52^{ns}	0,78**	5601,60**
Error	12	0,10	0,51	0,20	0,38	1215,00
CV%		1,11	8,09	6,51	1,94	67,46

** Significativo por la prueba de F ($p \leq 0,01$); ns= no significativo; Error= Error experimental y CV (%)= Coeficiente de variación.

De manera general, se observó en las comparaciones de los valores promedios de las variables fisicoquímicas del agua (Cuadro 3) para el tratamiento con recambio diario del 25% del agua (Rec25%Diario que le correspondieron los menores valores promedios de temperatura y nitratos así como también los más elevados de oxígeno disuelto y amonio no ionizado.

Cuadro 3. Comparación de los valores promedios de las variables temperatura; oxígeno disuelto, amonio no ionizado, nitritos y nitratos en los tratamientos con recambio parcial y sin recambio del agua.

Variables físico- químicas	Tratamientos (Niveles de recambio de agua)		
	25% diario	50% cada 7 días	Sin recambio
Temperatura (ºC)	28,09c	28,37b	28,51a
Oxígeno disuelto (mg.L^{-1})	3,32a	2,81b	2,30c
Amonio no ionizado (mg.L^{-1})	3,01a	0,48c	1,49b
Nitratos (mg.L^{-1})	6,32c	15,66a	11,68b

Valores promedios en las líneas seguidas de letras diferentes difieren estadísticamente por la prueba de Mínima Diferencia Significativa ($p \leq 0,05$).

Particularmente para los valores de la temperatura en el agua de los acuarios el tratamiento Rec25%Diario, presentó los menores valores ($p \leq 0,05$) promedios de temperatura y los promedios de los tratamientos con recambios del agua a los siete días (Rec50%7Dias) y sin recambio (SinRec) estadísticamente diferentes entre sí. El continuo recambio de agua permite controlar y mantener la temperatura en el nivel adecuado para la especie, manteniendo los valores en el rango señalado por Luchini (2006) y Cantor (2007) En todos los tratamientos se mantuvieron dentro de lo adecuado para la especie, no sólo en el recambio continuo que alegan que la temperatura para esta especie varía entre 27 y 32 ºC con variaciones de hasta 5°C, en este ensayo los resultados para temperatura se mantuvieron estables.

Para la variable oxígeno disuelto, hubo diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, el tratamiento Rec25%Diario se registró la mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua. Estos resultados son bajos con respecto a los recomendados para tilapia que deben ser mayores a 4,5 mg.L^{-1} de acuerdo con Salazar y Flores (2015) aunque Cantor (2007) alega que para cultivo de tilapia los niveles mínimos de OD para un crecimiento normal y baja mortalidad deben mantenerse en un nivel superior a 3 mg.L^{-1}, no obstante en los tratamientos 50% de recambio y sin recambio la concentración de OD está por debajo de los valores críticos, quizás el recambio diario del agua influyó en este resultado al evitar la acumulación de desechos en el tratamiento 1.

Los niveles bajos de oxígeno disuelto en el agua en los tratamientos Rec50%7Dias y SinRec se pueden atribuir a la descomposición de la materia orgánica, el alimento no consumido, al respecto Cantor (2007) señala que esto es consecuencia de la acumulación de las heces, el aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura, y la disminución del pH, por el reducido manejo de la calidad del agua. Por su parte Hsien y Quintanilla (2008) explican que la tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1,0 mg.L^{-1}) por la capacidad que su sangre posee para saturarse de oxígeno, cuando la presión parcial de este es baja.

De manera similar, al oxígeno disuelto, el amonio no ionizado, el tratamiento con Rec25%Diario presentó los mayores valores promedios y este difiere de los tratamientos con Rec50%7Dias y SinRec, que presentan menores valores de amonio no ionizado, estos dos últimos son diferentes entre sí; sin embargo, a diferencia del oxígeno disuelto es el tratamiento con Rec50%7Dias el que presenta el menor valor.

El amonio no ionizado (NH_3) obtuvo el menor resultado (0,48 mg.L^{-1}) en el tratamiento Rec50%7Dias, para los tratamientos Rec25%Diario y SinRec, obtuvo valores de 3,01±0,00 y 1,49±0,01 mg.L^{-1} respectivamente. El amonio no ionizado que se encuentra en el agua de cultivo, es un elemento tóxico producto de la excreción de los peces, su liberación en el agua es continua mientras los peces respiran, lo cual indica que este compuesto siempre está presente en el agua donde crecen los peces, en referencia a esto Edna y Boyd (1997) alegan que en aguas de cultivo de peces parecieran ser más altas en nitrógeno proveniente del amonio no ionizado (NO_3) que en nitritos y nitratos, como ocurrió en esta investigación.

Los valores obtenidos en esta investigación, son superiores a los recomendados, para cultivos de tilapia tanto en jaulas como en estanques, por Cantor (2007); García y Calvario (2008) y Sauceda *et al*. (2009) quienes indican que los niveles de amonio no ionizado idealmente deben fluctuar entre 0,01 y 0,10 mg.L^{-1}; sin embargo, Cantor (2007) especifica que los niveles de tolerancia

varían entre 0,2 y 2,0 $mg.L^{-1}$. Los resultados de NH_3 obtenidos en este ensayo, en los tratamientos Rec50%7Dias y SinRec están dentro de los niveles de tolerancia. Ingle de la Mora *et al*. (2003) señalan que no está claro por qué diferentes especies de peces, presentan una sensibilidad diferenciada a la presencia de amoniaco, así por ejemplo la tilapia del Nilo puede tolerar niveles altos que van desde 1,1 a 4,1 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NH_3$ durante largos períodos de tiempo, tal como sucedió en este ensayo.

La concentración de amonio no ionizado en el Rec25% Diario puede estar relacionada con la interrupción del ciclo del nitrógeno, lo cual es ocasionado por el recambio de agua, impidiendo que el compuesto (NH_3) sea transformado en nitritos a través del proceso de nitrificación. Saubot (2002) señala que este paso de amonio a nitritos tiene una duración promedio de 5 a 10 días, es decir, que en el agua de los acuarios del tratamiento Rec25%Diario, ocurría poca transformación de este compuesto. Con respecto a Rec50%7Dias y Sin Rec, las concentraciones de amonio no ionizado, fueron menores en comparación con el tratamiento Rec25%Diario, pudiendo atribuir esta diferencia al adecuado ritmo del ciclo del nitrógeno, permitiendo la transformación de este compuesto a nitritos y nitratos que es el producto final del ciclo del nitrógeno. Bautista y Ruiz (2011) puntualizan que niveles de nitratos entre 0 y 40 $mg.L^{-1}$, son generalmente seguros para los peces, en este ensayo para los tres tratamientos, este compuesto se presentó dentro de los valores de seguridad.

Crecimiento de juveniles de tilapia roja

Los análisis estadísticos de las variables masa y longitud de los juveniles de tilapia revelaron diferencias estadísticas para los tratamientos por la prueba de F a 1 % de probabilidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resumen del análisis de varianza para las variables crecimiento en masa (MA) y longitud (LO) de juveniles de tilapia roja en el ensayo sobre la tasa de recambio de agua

Fuente de variación	Gl	Cuadrados medios	
		MA	LO
Tratamientos	2	21,97**	0,94**
Error	12	2,34	0,16
CV (%)		1,52	0,40

** Significativo por la prueba de F ($p \leq 0,01$); Error=Error Experimental; CV (%)= Coeficiente de variación.

La comparación de los valores promedios por la prueba de Mínima Diferencia Significativa a 5% de probabilidad (Cuadro 5) permitió constatar que para las variables masa inicial (MI) y longitud inicial (LI), no se observaron diferencias significativas, tal resultado era de esperarse por la rigurosa selección inicial de los ejemplares usados en la investigación y que permiten atribuir la diferencia entre los datos a las tasas de recambio de agua evaluadas como única fuente de variación, sin embargo, esas variables, masa final (MF) y longitud final (LF) al culminar la investigación, en el tratamiento donde se realizó el recambio diario del agua en una proporción de 25% (Rec25%Diario), se observaron los mayores valores promedios de masa y longitud, ambas medidas, difieren de los tratamientos con recambio cada siete días de una proporción de 50% del agua (Rec50%7Dias) y sin recambio de agua (SinRec) que presentaron menores valores promedios y estadísticamente fueron similares.

Cuadro 5. Comparación de medias de las variables crecimiento, masa inicial (MI), masa final (MF), longitud inicial (LI), longitud final (LF) y las tasas de crecimiento absoluto en masa (TCAM) y de crecimiento absoluto en longitud (TCAL) en juveniles de tilapia roja en el ensayo sobre la tasa de recambio de agua.

Tratamientos	Variables cuantificadas					
	MI (g)	MF (g)	LI (cm)	LF (cm)	TCAM (g)	TCAL (cm)
25% diario	4,59a	12,16a	6,31a	8,81a	0,17a	0,06a
50% 7días	4,66a	8,44b	6,37a	8,15b	0,08b	0,04b
Sin recambio	4,79a	8,62b	6,45a	8,00b	0,08b	0,03b

Medias seguidas de letras diferentes en las columnas difieren estadísticamente por la prueba de Mínima Diferencia Significativa ($p \leq 0,05$).

Los resultados obtenidos para masa y longitud de juveniles de tilapia roja en las tres condiciones evaluadas en este ensayo coinciden con la referencia de Moyle y Cech (2000). Estos autores, señalan que las tasas de crecimiento de los peces son altamente variables porque dependen fuertemente de una diversidad de factores ambientales que interactúan, tales como la temperatura del agua, los niveles de oxígeno disuelto, el amonio, el grado de competencia, la cantidad y calidad del alimento ingerido, y el estado de madurez de los peces; en esta investigación, las tasas de crecimiento absoluto en masa y longitud para el tratamiento con 25% de recambio diario, fueron mayores y mostraron diferencia estadística significativa con respecto a los otros tratamientos, lo que permite inferir que la degradación de la calidad del agua es tangible en los casos donde se efectuó el recambio 50% cada 7 días y sin recambio, obviamente, afectando el crecimiento de los peces.

Boyd (1996); Valbuena y Cruz (2006); González *et al*. (2010) y Perdomo *et al*. (2012), afirman que en la crianza de tilapias (*Oreochromis* spp.) se ha observado gran adaptabilidad a distintos ambientes; no obstante, es importante conocer los parámetros físico-químicos del agua, tales como oxígeno disuelto, temperatura, pH, transparencia, dureza, amonio y alcalinidad, como indicadores del bienestar en los peces, las alteraciones en los rangos de tolerancia de estas variables pueden causar

hipoxia, inapetencia, atraso del crecimiento, incremento de la conversión alimenticia, inmunosupresión, susceptibilidad a enfermedades, deterioro de las branquias y mortalidad, lo que se traduce en considerables pérdidas económicas.

En los tratamientos con recambio cada 7 días y sin recambio, donde las concentraciones de amonio no ionizado resultaron dentro del nivel de tolerancia, también hubo acumulación de compuestos nitrogenados producto de la excreción y respiración de los peces, además de restos de alimento no consumido, generando un ambiente propicio para la intervención de las bacterias nitrificantes del ciclo del nitrógeno. Boyd (1990) señala que en este proceso los microorganismos compiten con los peces por el consumo de oxígeno disuelto en el agua, afectando su crecimiento, lo que pudo ocurrir en estos tratamientos, Perdomo *et al*. (2012) y Hahn y Grajales (2016) coinciden que el recambio de agua, es una práctica necesaria para mantener la calidad del agua de los peces.

Modelos de crecimiento de las tilapias rojas

En los cuadros 6 y 7, se muestran los resultados del crecimiento en masa y longitud total de los juveniles de tilapia roja, ajustados a los cuatro modelos de crecimiento evaluados. En ellos se observa que en los tres tratamientos con diferentes niveles de recambio de agua, la curva de crecimiento que mejor describe la variación en longitud y masa de los peces durante los 43 días del ensayo es la que representa al modelo exponencial, debido a que presentó el coeficiente de determinación (R^2) más alto y cercano a 1, indicando la bondad de ajuste del modelo, y el menor cuadrado medio del error, que expresa la proporción de variabilidad en el análisis de varianza de la regresión (Cornell y Berger, 1987).

En los tratamientos de 25% de recambio de agua diario y 50% de recambio cada 7 días (Rec25%Diario y Rec50%7Dias) para la variable masa el modelo exponencial es muy cercano a 1 y significativamente diferente por la prueba LSD ($p \leq 0,05$); sin embargo, en el tratamiento donde no se realizó recambio de agua durante los 43 días del ensayo (SinRec) aun cuando el modelo exponencial muestra la mayor bondad de ajuste con un coeficiente de determinación de 0,96 no difiere estadísticamente del modelo logístico (0,95) lo que indica tendencia a un cambio de respuesta de los juveniles de tilapia roja generada por las condiciones del agua. Aunque la tilapia es resistente a concentraciones de oxígeno disuelto bajas eso no significa que no afecte el crecimiento mantenerlas a < 3 $mg.L^{-1}$. A pesar de que en el tratamiento tres la concentración de oxígeno fue baja, es probable que la falta de recambio por obvias razones mantuviera en un constante estrés a los animales de ese tratamiento, afectando su crecimiento aunque no fue letal, por eso el modelo logístico se acerca al exponencial, ya que tiende a caracterizar bien el crecimiento cuando éste es relativamente lento en estadios tempranos de vida (Griffiths *et al*., 2010) tal como les pasó a los peces del tratamiento sin recambio.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Montana *et al*. (2013) quienes detectaron durante tres períodos continuos de 30 días, para tres grupos (A, B, y C) de alevines de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss)* en sistemas cerrados de recirculación de agua (SCRA), para las variables masa, longitud estándar y longitud total, que los valores de R^2 corresponden con mayor precisión a los modelos exponencial y potencial como se espera para los organismos jóvenes en su fase de crecimiento temprano. Aunque un SCRA bien llevado, puede mantener excelentes niveles para el crecimiento de cualquier especie, lo cual es completamente diferente a las condiciones de este ensayo, en ambos casos se refleja que, independientemente del tipo de cultivo, en las primeras etapas los peces crecen de manera exponencial.

Cuadro 6**.** Crecimiento en masa de los alevines de tilapia roja sometidos a tres niveles de recambio de agua

Tratamientos (Recambio de agua)	Modelo	Ecuación de crecimiento	CME	R^2
25% diario	Exponencial	**Y= 1,549 + 0,022X**	**0,00014**	**0,98**
	Gompertz	Y= 0,454 + 0,011X	0,00005	0,97
	Logístico	Y= 0,285 + 0,001X	$1,030 \times 10^{-6}$	0,93
	Monomolecular	Y= 0,775 + 0,003X	0,00001	0,93
50% cada 7 días	Exponencial	**Y= 1,611 + 0,012X**	**0,00022**	**0,91**
	Gompertz	Y= 0,48 + 0,007X	0,00007	0,89
	Logístico	Y= 0,287 + 0,000X	$1,19 \times 10^{-6}$	0,86
	Monomolecular	Y= 0,781 + 0,002X	0,00001	0,86
Sin recambio	Exponencial	**Y= 1,623 + 0,004X**	**0,00023**	**0,96**
	Gompertz	Y= 0,487 + 0,007X	0,00007	0,92
	Logístico	Y= 0,288 + 0,000X	$1,079 \times 10^{-6}$	0,95
	Monomolecular	Y= 0,784 + 0,002X	$8,206 \times 10^{-6}$	0,89

CME=Cuadrado medio del error; R^2= Coeficiente de determinación.

Martínez (2012), en la evaluación del crecimiento de *Carassius auratus* aplicando los modelos lineal, exponencial, gompertz, logístico, Richard y Von Bertalanffy, obtuvo el mejor ajuste con el coeficiente de determinación más cercano a 1 en los modelos lineal y exponencial. Botero y Ospina (2002), en ensayo realizado en jaulas flotantes en las Islas del Rosario, Caribe Colombiano, luego de 118 días de estudio determinaron que el modelo de crecimiento exponencial para la masa presentó un coeficiente de determinación de 0,99 para el *Lutjanus analis* (Pargo palmero).

Carrascal (2011) en ensayo con alevines de carpa común (*Cyprinus carpio*) en sistemas cerrados de recirculación de agua (SCRA) durante 12 semanas de cultivo, comparó dos montajes de cultivos (M1 y M2) con cinco repeticiones cada uno, determinó que la masa se ajustó mejor al modelo exponencial en las dos pruebas (R^2 M1 = 0,94 y R^2 M2= 0,99); sin embargo, la longitud total se ajustó de manera similar a los modelos exponencial y lineal (R^2 M1= 0,94 y R^2 M= 0,98), estos resultados son similares a los obtenidos en esta investigación y además coinciden con Ramírez (1999), quien afirma que la mayoría de los organismos biológicos exhiben en sus primeras etapas de desarrollo un crecimiento exponencial; no obstante, Santos *et al*. (2007) evaluaron el crecimiento de varias cepas de tilapia roja y encontraron en el modelo exponencial el mejor ajuste para todas las cepas. Más adelante Costa *et al*. (2009) evaluaron el crecimiento de varias cepas de tilapia roja y encontraron que el modelo exponencial tenía el mejor ajuste para todas las cepas.

Cuadro 7**.** Crecimiento en longitud total de los alevines de tilapia roja sometidos a tres niveles de recambio de agua

Tratamientos (Recambio de agua)	Modelo	Ecuación de crecimiento	CME	R^2
25% diario	**Exponencial**	**Y=1,845+ 0,008X**	**0,00164**	**0,99**
	Gompertz	Y=0,614+ 0,004X	0,00106	0,98
	Logístico	Y=0,305+ 0,000X	0,00003	0,98
	Monomolecular	Y=0,830+ 0,001X	0,00023	0,98
50% cada 7 días	**Exponencial**	**Y=1,864+ 0,005X**	**0,00402**	**0,97**
	Gompertz	Y=0,623+ 0,002X	0,00157	0,97
	Logístico	Y=0,306+ 0,000X	0,00003	0,96
	Monomolecular	Y=0,832+ 0,000X	0,00024	0,96
Sin recambio	**Exponencial**	**Y=1,881+ 0,004X**	**0,00301**	**0,96**
	Gompertz	Y=0,632+ 0,002X	0,00113	0,96
	Logístico	Y=0,307+ 0,000X	0,00002	0,95
	Monomolecular	Y=0,835+ 0,000X	0,00018	0,95

CME=Cuadrado medio del error; R^2= Coeficiente de determinación.

En contraposición a estos resultados, Solano (2007), indica que en la evaluación del crecimiento de dorada, *Coryphaena hyppurus* (Lynnaeus, 1978), el modelo gompertz, presentó mejor ajuste a los valores observados para el crecimiento en talla en relación al modelo de Von Bertalanffy. De manera similar, estudios presentados por Arzola (2014) en corvina (*C. othonopterus)* determinaron que el modelo logístico ofrece bases más objetivas para describir el crecimiento de la corvina; aunque, Zar (1999) explica que cuando los individuos están en las primeras etapas de crecimiento los modelos de gompertz y logístico no se ajustan. En la selección del modelo es importante considerar, además del coeficiente de determinación, al modelo que presenta el menor cuadrado medio del error (CME) del análisis de varianza de la regresión, ya que garantiza mayor confiabilidad de los resultados.

Posiblemente estos autores no consideraron el cuadrado medio del error (CME) de la ecuación ajustada y solo emplearon el coeficiente de determinación. Esta observación toma más sustento porque no es mencionada por los autores antes señalados. De esta manera, es fundamental considerar el CME esto porque él representa la variabilidad en el ajuste de los datos por la función empleada (Cornell y Berger, 1987).

CONCLUSIONES

El recambio diario de 25% del agua favoreció el crecimiento de los juveniles de tilapia roja, debido a que proporcionó mejor calidad de agua, expresada en mayor concentración de oxígeno disuelto, pH y temperaturas estables y menores valores promedios de nitratos.

Los tratamientos con recambio de 50% y sin recambio de agua generaron acumulación de nitratos que resultaron negativos para el crecimiento de los juveniles de tilapia.

El modelo exponencial fue el que presentó el mejor ajuste para masa y longitud total de los juveniles de tilapia roja, independientemente del tratamiento de recambio de agua utilizado.

LITERATURA CITADA

Arzola, E. 2014. Aplicación del enfoque multimodelo para la evaluación del crecimiento individual de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California. Ciencia Pesquera 22(1): 79-88.

Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. Aquaculture. 264(1): 140-147.

Betancourth, C. 2020. 7 beneficios y propiedades de la tilapia que no conocías. https://mejorconsalud.com/7-beneficios-propiedades-la-tilapia-no-conocias/

Beveridge, M, y McAndrew, B. 2001. Tilapias: biology and exploitations. Londres: Kluwer Academic Publishers Fish and Fisheries. 505p.

Botero, J, y Ospina, J. 2002. Crecimiento de juveniles de pargo palmero *Lutjanus analis* (Cuvier) en jaulas flotantes, en Islas del Rosario, Caribe Colombiano. Bol. Inv. Mar. Cos. 31: 205-217.

Boyd, C. 1990. Water quality in warm water fish ponds. Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. pp. 482.

Boyd, C. 1996. Manejo de suelo y de la calidad de agua en la acuicultura de piscinas. Asociación Americana de Soya (ASA). Caracas, Venezuela. 62 p.

Boyd, C. 2004. Considerations on water quality and soil in shrimp culture. Alabama USA. 30 p.

Buxade, C. 1997. Zootecnia, Bases de Producción Animal. Tomo XIII. Mundi Prensa Libros. Madrid, España. 343 p.

Castillo, C. 2001. Tilapia roja una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito doce años después. Cali, Valle, Colombia. Disponible en (www.todomaiz.com/acqua-pia/).

Cantor, F. 2007. Manual de producción de la tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Ciudad de Puebla. México. 135p.

Carrascal, J. 2011. Evaluación de la etapa de levante de carpa común (*Cyprinus carpio*) en sistemas cerrados de recirculación de agua. Tesis. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ciencias Básicas.

Climate-Data.Org. 2020. Datos climáticos mundiales (en línea). Consultado 10 ene. 2021 Disponible en:https://es.climate-data.org/

Cornell, J, y Berger, R. 1987. Factors that influence the coefficient of determination in simple linear and non linear models. Phytopathology 77: 63-70.

Costa, A., Reis, R., Freato, T. 2009. Avaliação do crescimento de tilápias de diferentes linhagens através de modelos não lineares. Archivos de Zootecnia. 1(58): 561-564.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., Robledo, C. 2014. INFOSTAT versión 2014. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Cordova. Argentina. Disponible en: http://www.infosat.com.ar

Edna, H, y C. Boyd. 1997. Dinamics of pond aquaculture. CRS. Press. 1ª ed. Boca Ratón, Florida, Usa. pp. 472.

García, A., y Calvario, O. 2008. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD). Mazatlán, Sinaloa, México. 104 p.

González, R., Romero, O., Valdivié, M. 2010. Influencia de la calidad del agua en la productividad acuícola. [on-línea]. Disponible en: http://www.vet-uy.com/articulos/piscicultura/050/020/pec020.htm.

Griffiths, S., Gary, F., Manson, F., y Dong, L. 2010. Age and growth of Long tail Tuna (*Thunnus tonggol*) in tropical and temperate waters of the central Indo-Pacific. ICES. Journal of Marine Science 67(1): 125-134.

Hahn-Von-Hessberg, C., y A. Grajales. 2016. Evaluación de invernaderos en producciones piscícolas. Bol.Cient.Mus.Hist.Nat.U.deCaldas. 20(2):124-137.

Hsien, S., y Quintanilla, M. 2008. Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia. Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura. San Salvador. El Salvador. 68p.

Ingle de la Mora, G., Villareal, E., Arredondo, L. Ponce, J., Barriga, I. 2003. Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. Hidrobiológica 13(4): 247-253.

León, C., y Barrera, B. 2003. Métodos biomatemáticos para análisis de sistemas bioagropecuarios en el Ecuador. INIAP y CIP. Quito, Ecuador. 187 pp.

Linares, F. 2010. Protocolo de determinación de oxígeno por el método Winkler. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco-División de

Ciencias Biológicas y de la Salud-Licenciatura en Biología. Xochimilco, México. 1-3.

Luchini, L. 2006. Tilapia: su cultivo y sistemas de producción. [En línea]. Disponible en:http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=Cultivos/01-Especies/_archivos/000008Tilapia/071201_Generalidades%20acerca%20del%20cultivo%20%28Parte%2001%29.pdf.

Luna, J, y Figueroa, J. 2000. Reproducción y crecimiento en cautiverio de la mojarra criolla *Cichlasoma istlanum* (Pisces: Cichlidae). Rev. AquaTIC.10:19

Marcillo, F. 2001. Recambios de Agua. [en línea]. Disponible en:https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8890/1/Clase04.pdf.

Martínez, O. 2012. Determinación del efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de golfish (*Carassius auratus*) en sistemas cerrados de recirculación de agua. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ciencias Básicas. 34p.

Montana, C., Hurtado, H., Gómez, E. 2013. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry initiation in closed water recirculation systems. Rev Colomb Cienc Pecu. 26: 211-218.

Morales, A. 1991. La tilapia en México. Biología, Cultivo y Pesquerías. A. G. T. México. 190p.

Moyle, B, y Cech, J. 2000. Fishes an introduction to ichthyology. Prentice Hall. Uppers addle river. New Jersey. USA. Pp: 112-122.

Perdomo, D., Corredor, Z., Ramírez, L. 2012. Características físico-químicas y morfométricas en la crianza por fases de la tilapia roja (*Oreochromis* spp.) en una zona cálida tropical. Zootecnia Trop. 30(1): 99-108.

Ramírez, A. 1999. Ecología Aplicada. Diseño y Análisis Estadístico. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Salazar, C., y Flores, C. 2015. Evaluación de los parámetros de crecimiento de alevines de tilapia roja *(Oreochromis sp.)* con dietas enriquecidas con dos aceites esenciales: Cúrcuma *(Cúrcuma longa)* y Hierba Luisa *(Cymbopogon citratus)*.Tesis. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.

Saubot, P. 2002. Ciclo del nitrógeno. [En línea]. Disponible en:http://www.estanquesypeces.com/estanques/ciclo_del_nitrogeno.htm.

Santos, B., Fonseca, R., Fonseca, F., Freato. T. 2009. Avaliação de curvas de crescimento morfométrico de linhagens de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). Ciênc. Agrotec. Lavras, 5(31): 1486-1492.

Sauceda, R., Rendón, P., Figueroa, P., Rendón, E., López, C. 2009. Modelo técnico para cultivo de tilapias (*Oreochromis* sp.) en jaulas. Sistema de productos de tilapia. México, México. 133p.

Solano, F. 2007. Determinación de edad y crecimiento del dorado en el Pacifico Sur Mexicano. *Coryphaena hyppurus* (Lynnaeus, 1978). Tesis. Campus Puerto Ángel. Oaxaca, México.

Tresierra, A, y Culquichicón, Z. 1993**.** Biología Pesquera. Libertad. Trujillo, Perú.

Valbuena, R, y Cruz, P. 2006. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). Orinoquia. 10(1): 57-63.

Weatherley, A, y Gill, H. 1987. The biology of fish growth. Academic Press. 443p.

Zar, J. 1999. Biostatistical analysis. 4 ed. Prentice Hall. New Jersey. EUA. 662p.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

CARACTERIZACIÓN Y TEMPORALIDAD DE ENEMIGOS NATURALES DE *Opsiphanes cassina* EN PALMA ACEITERA, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA

CHARACTERIZATION AND TEMPORALITY OF NATURAL ENEMIES OF *Opsiphanes cassina* IN OIL PALM, MONAGAS STATE, VENEZUELA

Gladys Rodríguez Gonzalez[1], Ramón Silva-Acuña[2], Rafael Cásares Moizant[3], Asdrúbal Díaz Quintana[1], Renny Barrios Maestre[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro de Investigaciones Agrícolas del estado Monagas. Apartado Postal 184. Z.P. 6201. Maturín, Monagas, Venezuela
[2]Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Escuela de Ingeniería Agronómica, Postgrado de Agricultura Tropical, Maturín, Venezuela
[3]Instituto de Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Apartado Postal 4579. Z.P.2101-A. Maracay, Aragua, Venezuela.

E-mai: rennybarrios@gmail.com

Información del articulo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
08/02/2021

Aceptado:
27/05/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(1):17-24

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.261

Resumen

La investigación se condujo con el objetivo de realizar la caracterización y temporalidad de los enemigos naturales asociados con *Opsiphanes cassina* en una plantación de palma aceitera, ubicada en el estado Monagas, Finca "El Águila" Venezuela. Se efectuaron evaluaciones a intervalos semanales, durante el ciclo agosto 2015/agosto 2016, seccionando la hoja número 25 de dos plantas.ha^{-1} en un lote de 10 ha. Se cuantificó el número de huevos, larvas diferentes instares y pupas, así como también, de sus enemigos naturales y las especies vegetales que les ofrecen alimento y refugio dentro del área experimental. Los agentes de control biológico identificados correspondieron a *Telenomus* sp. (Scelionidae), *Anastatus* sp. (Eupelmidae) y un eulófido como parasitoides de huevos; *Cotesia* sp. (Braconidae) de larvas del V instar y *Conura maculata* F (Chalcididae) de pupas. *Cotesia* sp., fue el entomófago más relevante en la regulación de las poblaciones del insecto. La presencia de especies como *Croton trinitatis* Mills y *Solanum hirtum* L favorecen el fortalecimiento del control biológico natural de *O. cassina*.

Palabras clave: plantas arvenses, *Elaeis guinensis*, gusano de las palmeras, control biológico, parasitoides

Abstract

The research was conducted with the objective of performing the characterization and temporality of the natural enemies associated with *Opsiphanes cassina* in an oil palm plantation, located in Monagas state, *Finca "El Águila"* Venezuela. Evaluations were carried out at weekly intervals, during the August 2015/August 2016 cycle, sectioning leaf number 25 from two plants ha-1 in a 10 ha lot. The number of eggs, different instars larvae and pupa, as well as their natural enemies and the plant species that offer them food and shelter within the experimental area, were quantified. The biological control agents identified corresponded to *Telenomus sp.* (Scelionidae), *Anastatus sp*. (Eupelmidae) and a eulophyid as egg parasitoids; *Cotesia sp*. (Braconidae) from larvae of V instar and *Conura maculata F* (Chalcididae) from pupa. *Cotesia sp.*, was the most relevant entomophagus in the regulation of insect populations. The presence of species such as *Croton trinitatis* Mills and *Solanum hirtum L* favor the strengthening of the natural biological control of *O. cassina*.

Key words: weed plants, Elaeis guinensis, palm worm, biological control, parasitoids.

INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) dentro de las oleaginosas, es un cultivo de relevante importancia económica, sus productos, están dirigidos tanto a la producción de alimentos como para la industria oleoquimica; además, su cultivo genera impacto social al crear empleos y también beneficia lo ambiental, protegiéndolo. USDA (2020) proyecta para 2020/2021 una producción mundial de aceite de palma de 74,60 millones de toneladas métricas (TM)**,** siendo la del ciclo 2019/2020 de 72,27 millones de TM.

En Venezuela, Díaz y Barrios (2007) consideran al cultivo de palma aceitera como el proyecto que generó el mayor desarrollo agrícola e industrial. En el país, se consumen 560 000 TM.año^{-1} de aceites y grasas vegetales, y solo se producen 120 000 TM; por tanto, existe un déficit de 79%, que obliga a mantener las importaciones.

O. cassina, es la especie de insecto defoliador más dañino, capaz de causar severas defoliaciones en plantas adultas de palma aceitera y cocotero y esporádicamente en plantas jóvenes (Rodríguez *et al*., 2012a; Oliveira *et al.,* 2018), existen registros de más de 600 larvas.hojas^{-1} (Chinchilla, 2003; Aldana y Aldana, 2017). Para realizar el control de larvas defoliadoras en plantaciones de palma aceitera se requiere realizar censos regulares, así como también, la aplicación de productos selectivos para reducir las poblaciones a niveles del equilibrio natural. Ese equilibrio, es mantenido principalmente por chinches depredadoras, parasitoides y entomopatógenos como hongos y virus. En ausencia del control natural, las larvas son capaces de incrementar rápidamente sus poblaciones y causar severos daños (Chung *et al*., 1996).

Las cuantificaciones poblacionales de *O. cassina,* se efectúan normalmente mediante recuentos semanales en la hoja 17 o 25 en una o dos palmas por ha (Rodríguez *et al*., 2011; Oliveira *et al*., 2018). El muestreo oportuno de las diferentes etapas de desarrollo del insecto plaga (Rodríguez *et al*., 2012b) y sus enemigos naturales, es la base de un programa de Manejo Integrado de Plagas (MIP) (Díaz-Castañeda, *et al*., 2020) ya que permite definir la ubicación e importancia del problema cuando todavía se limita a unas pocas plantas y tener mayor dominio para establecer las medidas más razonables para enfrentarlo (Chinchilla, 2003; Calvache, 2016).

Para la región del sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia (Escalante y Rosales, 2007) señalan los insectos que causan parasitismo a los estados inmaduros de *O. cassina* y los dividen en 60% para la fase de pupa, 30% en larva y 10% en la fase de huevo, descritos de la siguiente manera: un parasitoide de huevos *Telenomus* sp. (Hymenoptera: Scelionidae); tres de larvas, *Alcaeorhynchus grandis* (Hemiptera: Pentatomidae), *Aleiodes* sp y *Cotesia* sp. (Hymenoptera: Braconidae) y cinco parasitoides de pupas, *Brachymeria* sp (Hymenoptera: Chalcididae); *Sarcodexia innata* (Diptera: Sarcophagidae); *Conura* sp (Hymenoptera: Chalcididae); *Tetrastichus* sp (Hymenoptera: Eulophidae), y *Rhysipolis* sp (Hymenoptera: Braconidae); también relataron al género *Beauveria*, como hongo entomopatógeno de insectos defoliadores en palma aceitera.

De manera similar, para los parasitoides de huevos de *O. cassina*, Calvache (2016); Barriga (2016) y Pastrana *et al*. (2019) describen que son parasitados por *Telenomus* sp. (Scelionidae) y *Oencyrtus* sp. (Encyrtidae) mientras que, las larvas tienen como parasitoides a *Apanteles* sp. y *Horismenus* sp. (Braconidae), *Casinaria* sp. (Icheneumonidae), *Conura maculata*, *Conura* sp. (Chalcididae), *Brachymeria* spp, *Cotesia* sp. (Braconidae); además, de ser depredadas por los chinches pentatómidos, *Mormidea ypsilon* F, *Podisus* sp. y *Alcaeorrhynchus grandis* F (Mexzón y Chinchilla, 1996; Barriga, 2016 y Pastrana *et al*., 2019); se agrega, que las larvas son afectadas por virus tipos densovirus (Morales *et al*., 2017) y el de la poliedrosis nuclear y finalmente, Barriga (2016), señala al entomopatógeno *Beauveria bassiana* y al reduvido *Arilus* sp.

Para la pupa, se han señalados varios tachínidos y el chalcidido *Spilochalcis nigrifronsy,* siendo afectadas por el hongo *Beauveria* sp y por una bacteria no identificada (Mexzón y Chinchilla, 1996). Recientemente, Barriga (2016) distingue los parasitoides *Sarcodesia* sp. (Diptera; Sarcophagidae) y *Spilochalcis* sp. (Himenoptera: Chalcididae); mientras que Pastrana *et al*. (2019) incluyen a *Conura maculata*, *Conura* sp y *Brachymeria* sp.

Paralelamente con el cultivo, el conocimiento sobre la vegetación asociada, es otro elemento a considerar del ambiente. Muchas plantas son visitadas por parasitoides y depredadores, ellas les ofrecen alimento, refugio y posiblemente, ayudan al desarrollo de patógenos que afectan sus poblaciones. Al menos 75 especies de plantas pertenecientes a varias familias (Leguminosae, Euphorbiacea, Acanthaceae, Compositae, Malvaceae, etc.) han sido consideradas importantes en mantener la diversidad de la entomofauna en plantaciones comerciales de palma aceitera (Mexzón y Chinchilla, 1996), siendo *Croton trinitatis* (Millsp) la de mejores características para el establecimiento y mantenimiento de parasitoides de insectos defoliadores (Aldana *et al*., 2010).

En Venezuela, y particularmente en el estado Monagas, se conoce muy poco de las interrelaciones de *Opsiphanes cassina* con sus biorreguladores y el ambiente para ayudar al mantenimiento del balance del agroecosistema de palma aceitera. Por esta razón, se realizó la presente investigación, con la finalidad de caracterizar y conocer la temporalidad de los controladores biológicos; así como también, realizar observaciones sobre la vegetación

benéfica en el fortalecimiento del control biológico natural.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se condujo en la Finca "El Águila", durante el ciclo agosto 2015/agosto 2016, en el lote A2 sur-Vía 3, de 10 ha de palma aceitera del material genético Deli x Avros. El lote asignado para la experimentación abarcó 60 hileras de plantas, las cuales se enumeraron de cinco en cinco, identificándose 11. En cada una de estas hileras se marcaron las plantas con una cinta plástica color amarillo tráfico desde la palma dos hasta la cinco y desde la 14 hasta 17, creándose 22 estaciones de muestreo, de acuerdo con la metodología desarrollada por Rodríguez *et al*. (2011).

Los muestreos se realizaron con frecuencia semanal, seccionando la hoja Nº 25 de dos plantas.ha^{-1}, donde se cuantificó los huevos, instares larvales y pupas de *O. cassina,* y de sus enemigos naturales.

Se realizaron observaciones de los depredadores del insecto, así como también, de las especies vegetales que atrajeron a los potenciales enemigos naturales. El material biológico muestreado fue trasladado al laboratorio de Entomología del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Monagas para la obtención de adultos y de las especies de parasitoides asociados con *O. cassina* en sus diferentes fases de desarrollo.

La identificación de las especies vegetales se realizó utilizando claves, descripciones e ilustraciones disponibles en la literatura y fueron verificadas por comparación con el material disponible en los herbarios IRBR, MY, UOJ y VEN; mientras que la identificación de los depredadores se llevó a cabo a través de claves taxonómicas específicas de acuerdo a la familia del insecto.

El análisis estadístico se realizó con el programa InfoStat Versión 2018 (Di Rienzo *et al.,* 2018) y los análisis de correlaciones comparados por la prueba de t a 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parasitoides de huevos

En la figura 1A, se muestra el comportamiento del parasitismo global de huevos de *Opsiphanes cassina.* Los parasitoides actuaron principalmente desde finales de agosto hasta septiembre y desde finales de octubre hasta noviembre de 2015; de manera similar, hasta finales de enero 2016; fuera de estos lapsos su presencia no fue detectada. El porcentaje de parasitismo varió entre 21 y 100%; este último, se obtuvo a finales de agosto (semana 35) y enero (semana 4). El porcentaje promedio de parasitismo en la fase de huevo fue de 61,64%. Periodos muy secos o muy lluviosos podrían limitar la acción del parasitismo de huevos en el campo.

Se detectó la existencia de una correlación positiva y significativa por la prueba de t (r = 0,33* $p \leq 0,05$) entre la población de huevos y la de sus parasitoides, de ello, se puede deducir que el efecto del parasitismo global depende del crecimiento del hospedero. Los himenópteros *Telenomus* sp. (Scelionidae), *Anastatus* sp. (Eupelmidae) y una especie no identificada perteneciente a la familia Eulophidae ejercieron el parasitismo global en la fase de huevo; en consecuencia, estos resultados armonizan con los obtenidos por Barriga (2016), de la misma manera con los resultados de Pastrana *et al*. (2019).

En relación con los parasitoides de huevos de *O. cassina*, Mexzón y Chinchilla (1996) han señalado que su parasitismo es poco conocido, posiblemente porque en los muestreos no son considerados por su tamaño; no obstante, en la literatura se mencionan como parasitoides de huevos a *Telenomus* sp. y *Oencyrtus* sp. (Encyrtidae) (Aldana *et al*., 2010; Barriga, 2016).

Parasitoides de larvas de V instar

En la figura 1B, se muestra el parasitismo ejercido por *Cotesia* sp. Este parasitoide se observó en los últimos seis meses del año, en dos lapsos, los comprendidos entre septiembre-diciembre de 2015 y de julio-agosto de 2016, periodos estos lluviosos que coinciden con intervalos de abundancia de larvas del último instar.

Desde la semana 37 (primera quincena de agosto) a la semana 52 (finales de diciembre) el parasitismo fue variable, fluctuó entre 37,5 y 100%, con promedio de 62,22%. Posteriormente, durante la época seca, cuando disminuyen las poblaciones de su hospedero (larvas del V instar) el parasitoide no fue detectado. Esta circunstancia, coincide con la presentada por Argumero *et al.* (2000) y Pardey y Arango (2016) quienes señalaron que la población de parasitoides decrece en la época seca, aunque no desaparece. En este estudio, durante la semana 27 (inicio de julio) se detecta nuevamente el parasitoide hasta la semana 34 (finales de agosto); siendo que durante ese periodo el parasitismo fluctuó entre 16,67 y 100%, con un promedio de 53,17%.

Durante los intervalos de actuación del parasitoide, semanas 37 a 52/2015 y 27 a 34/2016 el porcentaje de parasitismo en las larvas del V instar siempre se mantuvo en promedio por encima del 50%. Por el análisis de correlación de Pearson, entre las poblaciones de larvas del V instar y las del parasitoide *Cotesia* sp., se obtuvo una correlación positiva y significativa por la prueba de t (r = 0,58* $p \leq 0,05$) *e*stos resultados sugieren que el parasitismo

está asociado con la regulación de la población de *O. cassina*, tal argumento permite señalar a este parasitoide como el de mayor importancia. El hallazgo, está en concordancia con el trabajo realizado por Díaz *et al*. (2000) en las parcelas ubicadas en la localidad de El Zamuro, municipio Maturín del estado Monagas, donde identificaron a *Cotesia* sp. (Hymenoptera: Braconidae) y a *Cotesia flavipes* (Cani) entre los parasitoides de larvas; además, estos mismos investigadores también indican la presencia de *Casinaria* sp. y *Barycerus dubiosus* (Say) (Hymenoptera: Ichneumonidae) y *Euphorocera* sp. (Díptera: Tachinidae) y al depredador *Alcaeorrhynchus grandis* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae), así como también encontraron una enfermedad virosa del tipo poliedrosis nuclear; de manera similar, en las condiciones de la Zona Suroccidental palmera de Colombia, Pastrana *et al*. (2019) también señala que *Cotesia* sp. ejerció parasitismo en larvas por el orden de 0,30%.

En la agropecuaria "El Águila" el entomófago más activo de *O. cassina* fue *Cotesia* sp. de la familia Braconidae y se presentó solo sobre larvas del V instar. Detalles de larvas afectadas se muestran en la figura 2A y 2B. Díaz y Vásquez (2003), también lo han señalado afectando a esta plaga en plantaciones de palma aceitera en el estado Monagas. En relación con los braconidos, se menciona que son un grupo muy diverso de avispas parasitoides de lepidópteros y que entre los géneros más importantes se encuentra *Cotesia* sp., *Fornicia* sp., *Digonogastra* sp., *Rhysipolis* sp. y *Rogas* sp. (Mexzón y Chinchilla, 1996). En el mismo orden, Barriga (2016) observó al entomopatógeno *Beauveria bassiana* en larvas enfermas, con incidencia de 5,56% y detectó a un miembro de la familia Reduvidae, al pentatomido *Alcaeorrhynchus grandis* y al reduvido *Arilus* sp. causando muerte en larvas del 68,42; 21,05, y 10,53%, respectivamente, en la región de San Martin, Meta, Colombia.

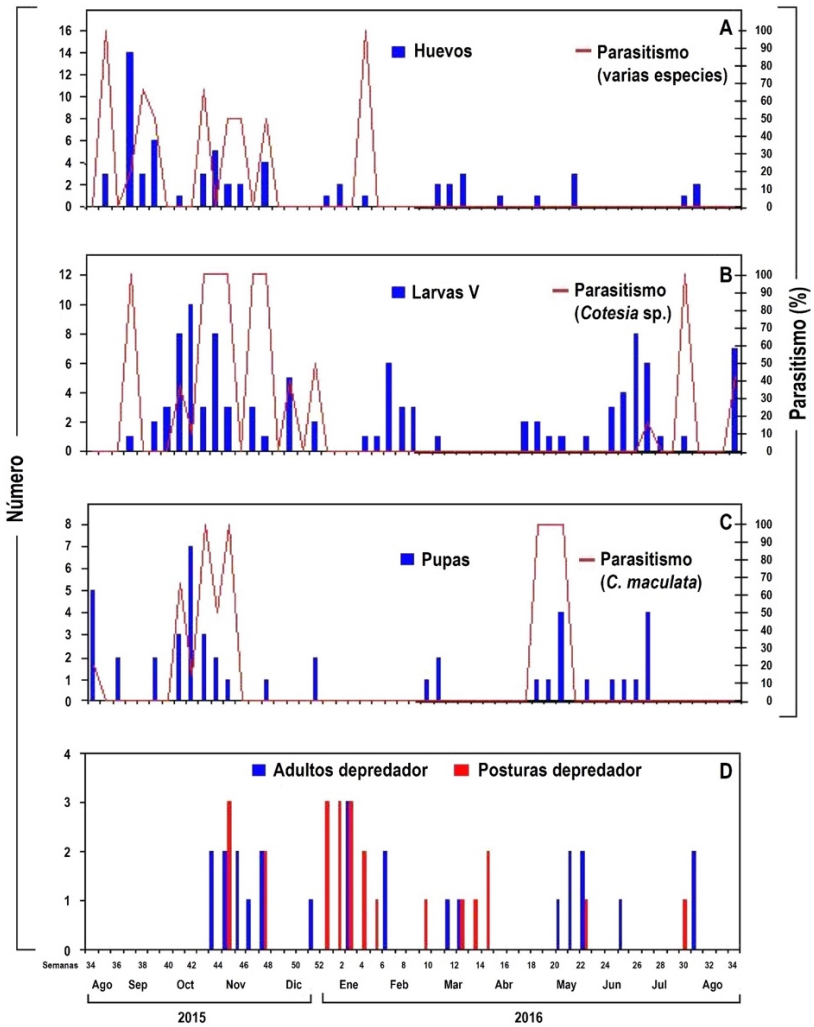

Figura 1. Parasitismo y depredación sobre *Opsiphanes cassina* Felder. Parasitoides en A: Huevos, por varias especies, B: Larvas V instar, por *Cotesia* sp, C: Pupas, por *C. maculata* y D: Presencia depredador, en la plantación "El Águila", Monagas, Venezuela, durante el ciclo agosto 2015 – agosto 2016.

Parasitoides de pupas

En la figura 1C, se muestra el parasitismo de *C. maculata* en pupas. Este parasitoide se detectó en dos ocasiones bien definidas del año: entre los meses de octubre a noviembre (2015) y en mayo (2016). Entre la semana 41 –mediados de octubre– a la semana 45 –mediados de noviembre– el parasitismo osciló entre 14,29 y 100%, con promedio de 66,19%. Desapareció por un lapso bien prolongado para luego detectarse desde la semana 18 a la 20 –mayo–, en este periodo se registró parasitismo del orden de 100%. Los lapsos señalados coinciden con el inicio de precipitaciones moderadas de intensidad comprendida entre 37 y 77 mm y de abundancia relativa de pupas. *C. maculata,* se presentó durante lapsos más corto en comparación con los parasitoides de huevos y de larvas.

La correlación de Pearson entre las poblaciones de pupas de *O. cassina* y las poblaciones del parasitoide *C. maculata* (r= 0,37* $p \leq 0,05$) fue positiva y significativa, por la prueba de t, lo que permite inferir que el parasitismo de pupa es el segundo agente de control natural importante, responsable de la mortalidad del insecto, el cual contribuye en la regulación de las poblaciones de adultos de *O. cassina* en generaciones sucesivas. Este proceso de regulación es más acentuado en las pupas existentes en la primera quincena de mayo, se observó al himenóptero *C. maculata* Fabricius de la familia Chalcididae atacando las pupas de *O. cassina* (Figura 3A, B y C), señalado también por Aldana *et al*. (2010); aunque, Mexzón y Chinchilla (1996) lo mencionan como parasitoide de larvas. Los adultos de este parasitoide emergen en grupos de 6 a 72 a través de un orificio circular de la pupa de su hospedero. Aldana *et al*. (2010), señalan que el número máximo de individuos que emergen de una pupa es de 36.

De manera similar, Díaz *et al*. (2000) en la localidad de el Zamuro, identificaron entre los parasitoides de pupas a *Conura* sp y *Brachymeria* sp (Hymenoptera: Chalcididae), por otro lado Barriga (2016) a nivel de pupas observo cuatro parasitoides, distinguiéndose *Sarcodesia* sp. (Díptera; Sarcophagidae) y *Spilochalcis* sp (Himenóptera: Chalcididae) responsables del 48,28 y 41,38% respectivamente, del total de pupas parasitadas, mientras que *Conura maculata*, *Conura* sp. y *Brachymeria* sp. lograron en conjunto 13,44% de parasitismo en pupas (Pastrana *et al*., 2019), en Colombia.

Parasitismo total

De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson se detectó una relación positiva y significativa (r = 0,67* $p \leq 0,05$) por la prueba de t, entre la población total de *O. cassina* (huevos, larvas V instar y pupas) y las poblaciones de los diversos parasitoides. Chinchilla (2003) señala que la regulación poblacional de *O. cassina* ocurre a bajas densidades por la acción de los parasitoides *Telenomus* sobre huevos, *Conura* y *Cotesia* sobre larvas, siendo el parasitismo en las larvas del V instar el más importante. Ese parasitismo en combinación con el de huevo y pupas, así como la captura de adultos y la acción de los depredadores contribuyen de manera significativa a la regulación de las poblaciones del insecto. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Díaz y Vásquez (2003), quienes han considerado que la acción de los enemigos naturales de los lepidópteros defoliadores en palma aceitera, principalmente sobre *O. cassina*, desempeñan importante papel en el mantenimiento de sus poblaciones a bajos niveles. Los autores antes señalados asumen que ese impacto positivo de los agentes de control es permanente en el agroecosistema palma aceitera debido a que las relaciones ecológicas entre ellos y el ambiente son favorables.

Depredadores

Durante todo el año de evaluaciones, en la hoja N° 25, se encontró adultos, ninfas –las ninfas se incluyeron junto con los adultos, en una única cuantificación– y posturas de un chinche depredador no identificado perteneciente a la familia Reduviidae, al detectarse los adultos aparecen sus posturas (Figura 1D), aunque sin causar depredación a *O. cassina*. También se capturó, en una oportunidad, un ejemplar de *Arilus cristatus* L. (Reduviidae). Varias especies de chinches pentatómidos son mencionadas como depredadoras muy eficientes de larvas y pupas de *O. cassina* (Mexzón y Chinchilla, 1996, Chinchilla, 2003). De manera similar, Pastrana *et al*. (2019), señalan a los depredadores *Alcaeorrhynchus grandis*, *Podisus* sp. y tres individuos del orden Araneae ejerciendo depredación del 3,52% en larvas, pupas y adultos de *O. cassina*.

Figura 2. A y B: Larva del V instar de *Opsiphanes cassina* Felder parasitada por *Cotesia* sp.

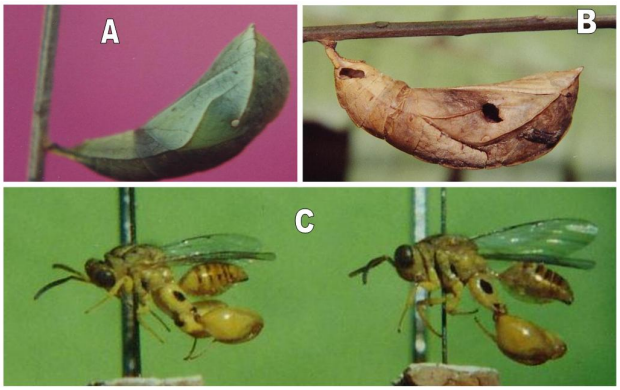

Figura 3. Parasitismo de pupa de *Opsiphanes cassina* Felder por *Conura maculata* Fabricius. (A, B): Pupas con evidencias del parasitismo y (C): Adultos de *C. maculata.*

Vegetación benéfica

En los cultivos de cobertura −estrato herbáceo−, varias avispitas de la familia Chalcididae fueron observadas en junio (2016) mostrando marcada preferencia, a tempranas horas de la mañana, por plantas con glándulas extraflorales, como *Croton trinitatis* Mills (pata de tórtola), coincidiendo con la evaluación de Díaz *et al*. (2000). En menor grado se observaron parasitoides en *Solanum hirtum* L. (huevo de gato). Posiblemente se trate de *Conura maculata* Fabricius, debido a que este parasitoide en mayo (2016) presentó su máximo nivel de parasitismo (100%) en pupas, durante tres semanas consecutivas; además, su significativa actividad se detectó en junio, coincidiendo su emergencia con las pupas que fueron parasitadas. A pesar de que en esta generación, los adultos exhibieron el valor más bajo de máxima poblacional (1,3 MTD), en el campo se encontró todas las fases del insecto. En esta generación el comportamiento de los estados inmaduros tuvo tendencia similar a la primera y segunda generación, es decir, que en las primeras semanas predominó la presencia de huevos y de larvas del I, II y III instar; y en las últimas semanas larvas del IV instar, V instar y pupas. Solamente se observó parasitismo en huevos.

Barriga (2016), señaló que dentro de la vegetación asociada al cultivo, en los lotes experimentales, se encontró que *Satachytarpheta cayennensis* (Familia Verbenacea) atrae los adultos de los parasitoides de huevos (*Telenomus* sp. y un miembro de la familia Eupelmidae, otra planta atractiva, pero para los parasitoides de pupa fue *Solanum hirtum* (Familia Solanácea), que coinciden con los resultados obtenidos de esta investigación.

A diferencia de las generaciones descritas, la cuarta generación mostró la tendencia a incrementar las poblaciones de los primeros instares (larvas I, II y III) en la semana 20 (15/05/2016) al final del ciclo, ya que se registró el 50% de la población de inmaduros que estuvo conformada por 30% de larvas del I instar y valor similar de 10% para los instares II y III; sin embargo, mostró similitud en cuanto a que el otro 50% correspondió al V instar (10%) y a las pupas (40%). En esta generación se observó parasitismo natural importante en la fase de pupa.

Al inicio (semana 21) se detectó el punto de máxima poblacional de adultos de 3,4 MTD; se encontraron huevos (75%) y larvas III (25%), no hubo solapamiento de generaciones, ya que no se constató la presencia de larvas de los últimos instares (IV y V), ni de pupas, debido probablemente a que aquellas fueron objeto de parasitismo al llegar a la fase de pupa. Durante la quinta generación se determinaron todas las fases del insecto, las larvas del V instar fueron afectadas por parasitoides, los cuales impidieron que muchas de ellas alcanzaran la fase de pupa. Las larvas del I instar (100%) prevalecieron al culminar esta generación en la semana 29.

Al iniciarse la generación (semana 30), se registró huevos, larvas de los primeros (I y II) y del último instar (V), estas últimas corresponden a la generación precedente. En la semana 31 ocurrió el punto de máxima de adultos con valor de 6,1 MTD; la composición de los estados inmaduros estuvo integrada por 10% de huevos, 25 y 55% para larvas del I y II instar, respectivamente, y valor similar de 5% para los instares III y IV. Al final del ciclo (semana 34), la población estuvo conformada por 27,27%; 9,09% y 63,63% para los instares III, IV y V, respectivamente. Solamente se observó parasitismo en la población de larvas del V instar. En esta generación se constató huevos en presencia de adultos. No se observó la presencia de pupas durante todo el lapso, esto pudo deberse al efecto del parasitismo natural registrado en las larvas del V instar, lo cual no permitió que el insecto alcanzara la fase de pupa.

Los resultados expuestos indican que antes de la presencia de adultos de una nueva generación, se observan pupas en el campo. Los puntos de máximas poblacionales de adultos coinciden con la detección de huevos, que abarcan de dos o tres semanas después del pico poblacional de adultos. Conjuntamente con los huevos, pueden presentarse las larvas I, II y III o larvas V y pupas. Se infiere que las larvas del V instar y las pupas obtenidas en los puntos de inflexión corresponden a la generación precedente, ocurriendo solapamiento entre generaciones.

En las condiciones del estado Monagas, reviste particular importancia los cambios climáticos, especialmente los de precipitación, que pueden presentarse durante la época seca de enero a abril. Lluvias ininterrumpidas en esta época, favorecen el desarrollo de poblaciones incontrolables de larvas, ya que las plantas (sin estrés hídrico) ofrecen alimento de excelente calidad; además, el insecto, se encuentra libre de la acción de sus enemigos naturales.

Diversos estudios hacen referencia a la necesidad del monitoreo continuo de las poblaciones de plagas, sus enemigos naturales y el favorecimiento de las plantas arvenses que le sirven de refugio en ausencia de sus hospederos (Calvache, 2004; Aldana *et al*., 2010; Morales *et al*., 2017; De Sousa *et al*., 2017). Por ello, es vital estar atentos y colocar trampas antes que las mariposas, inicien el periodo de oviposición.

CONCLUSIONES

El parasitismo sobre la fase de huevos, fue realizado por los himenópteros *Telenomus* sp. (Scelionidae), *Anastatus* sp. (Eupelmidae) y una especie no identificada, familia Eulophidae.

Cotesia sp., es calificado como el primer agente de control de *Opsiphanes cassina,* mientras que *Conura maculata* constituye el segundo agente de control natural, parasitando pupas de este lepidóptero-plaga.

Avispitas de la familia Chalcididae poseen preferencia por plantas con glándulas extraflorales, como *Croton trinitatis*; de manera similar, la presencia de parasitoides sobre *Solanum hirtum,* fortalecen el control biológico natural de *O. cassina*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al taxónomo de plantas José Gregorio Fariñas Marcano del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Monagas, y a los entomólogos Rosa Briceño del Museo Entomológico "José M. Osorio" y a Francisco Díaz; ambos, Profesores del Decanato de Agronomía, de la Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Venezuela, por realizar la identificación de las especies vegetales y los depredadores del insecto plaga, respectivamente.

LITERATURA CITADA

Aldana, R., Aldana, J., Calvache, H., Franco, P. 2010. Manual de plagas de la palma de aceite en Colombia. Sena–Cenipalma, Cuarta edición. Bogotá (Colombia). 198 p.

Aldana, R., Aldana, J. 2017. Reconocimiento y manejo de insectos defoliadores y asociados a la *Pestalotiopsis*. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite. Bogotá D.C., Colombia. 180 p.

Argumero, A.; Aldana, J.; Calvache, H.; Celis, L. 2000. Evaluación de dos especies de plantas nectaríferas en la atracción de insectos benéficos. Palmas, 21(1):201-202.

Barriga, M. J. C. 2016. Reconocimiento de enemigos naturales de *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidóptera: Brassolidae) en la región de San Martin-Meta. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Santafé de Bogotá. 128 p.

Calvache G, H. 2004. La identificación y el control de los focos iniciales en el manejo eficiente de plagas en palma de aceite. Revista Palmas, 25 (Especial), 186-193.

Calvache, H. 2016. Consideraciones sobre el manejo integrado de plagas en palma de aceite (II parte). GREPALMA (Gremial de Palmicultores de Guatemala). La Palma. Boletín Técnico. (7):1-13.

Chinchilla, C. 2003. Manejo integrado de problemas fitosanitarios en palma aceitera *Elaeis guineensis* en América Central. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 67:69-82.

Chung, C.; Sim, S.; Hon, K.; Ramli, K. 1996. Sistema de inspección y vigilancia para el manejo integrado de los gusanos comedores de follaje en palma de aceite. Palmas, 17(4):51-57.

De Sousa B., A. D., Farias, P. R. S., Dionisio, L. F. S., Tinôco, R. S., da Silva, A. G., da Silva, T. A. F. 2017. Spatial and temporal distribution of *Opsiphanes invirae* (Lepidoptera: Nymphalidae) in oil palm, Pará State, Brazil. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 12(4):464-469.

Díaz-Castañeda, C. E., Contreras-Garcia, C. V., Gómez-Tinoco, D. A. 2020. Comparación *in vitro* de la capacidad invasiva de dos formulaciones a base de *Beauveria bassiana* como control biológico de *Opsiphanes cassina*. Aibi Revista de investigación, Administración e Ingeniería, 7(2):3-7.

Díaz Q, A., Barrios M, R. 2007. Investigación, desarrollo e innovación tecnológica del cultivo de la palma aceitera en Venezuela. En: Anais do Workshop Latino-Americano de Investigación en Dendê (Palma aceitera): Alternativa para Contribuir al Desarrollo Económico y Social de la Amazonía. R. López, R. Vieira y A. Souza eds. Embrapa. 103 p.

Díaz Q, A.; González, C.; Villalba, V.; Rodríguez, G. 2000. Evaluación de insectos defoliadores y de sus enemigos naturales en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis*. Jacq.) del oriente de Venezuela. Palmas, 21(1):195-200.

Díaz Q, A., Vásquez L. 2003. Parasitoides de lepidópteros defoliadores de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Venezuela. En: Resúmenes XVIII Congreso

Venezolano de Entomología, Sociedad Venezolana de Entomología. Maracay, Aragua, Venezuela, 2003. p 42. (Resumen 034).

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; González, I.; Tablada, E.; Díaz, M.; Robledo, C.; Balzarini, M. 2018. InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: http://www.infostat.com.ar.

Escalante O, M., Rosales, L. 2007. Insectos y hongos que afectan a *Opsiphanes cassina* en palma aceitera del sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. PALMAS, 28 (Especial): 339-344.

Mexzón, R., Chinchilla C. 1996. Natural enemies of harmful arthropods in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Tropical America. ASD Oil Palm Papers 13: 9-33.

Morales, L. C., Neira, A. L., Becerra, J. F. 2017. Aplicación de mejores prácticas fitosanitarias en el cultivo de palma de aceite. Fedepalma. Programa sectorial de manejo fitosanitario, Unidad de Extensión. 68 pp.

Oliveira, T. A. D., Lemos, W. P., Tinôco, R. S., Barbosa, J. C., Martins, I. C. F. 2018. Validation of the sampling methodology for *Opsiphanes invirae* caterpillars on oil palm plantations in the Brazilian Amazon. Ciência Rural, 48(7).

Pardey, A. E. B.; Arango, C. M. 2016. Las mejores prácticas para detener el avance de la Marchitez Letal (ML) en plantaciones de palma de aceite en Colombia. Revista Palmas, 37(4):75-90.

Pastrana S, J. L.; Matabanchoy S, J. A.; Bustillo P, A. E. 2019. Enemigos naturales de *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Nymphalidae) en la Zona Suroccidental palmera de Colombia. XV Reunión técnica nacional de Palma de aceite del 25 al 27 de septiembre, Bucaramanga, Colombia. Cenipalma.

Rodríguez G, G.; Silva-Acuña, R.; Cásares M, R.; Díaz Q, A., Barrios M, R. 2011. Metodología para muestrear las fases inmaduras del defoliador *Opsiphanes cassina* Felder (1862) (Lepidoptera: Nymphalidae) en palma Aceitera. Revista Científica UDO 104 Agrícola, 11 (1):104-108.

Rodríguez G, G., Silva-Acuña, R.; Cásares M, R.; Barrios M, R.; Díaz Q, A.; Fariñas M, J. 2012a. Tecnología agronómica de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq,) y manejo integrado de su defoliador *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Brassolidae) en plantaciones comerciales del estado Monagas, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola 12 (3):584-598.

Rodríguez G, G.; Silva-Acuña, R.; Cásares M, R.; Barrios M, R.; Díaz Q, A.; Fariñas M, J. 2012b. Aspectos bioecologicos del defoliador de la palma aceitera, *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Nymphalidae). Revista Científica UDO Agrícola 12 (3):617-626.

USDA (United States Department of Agriculture). 2020. Oil Crops Outlook: June 2020. USDA, Economic Research Service, OCS-20f. 8 pp.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

INFLUENCIA DEL MUCILAGO DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN LAS CARATERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CERVEZA ARTESANAL

INFLUENCE OF COCOA MUCILAGE (*Theobroma cacao*) ON THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ARTISANAL BEER

Ronald Luigi Pilligua-Pilligua, Roy Leonardo Barre-Zambrano, Aldo Eduardo Mendoza-Gonzáles, Edison Lavayen-Delgado, Robert Mero-Santana

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad Ciencias Agropecuarias, Av. Circunvalación, Manta, Manabí, Ecuador

Email: ronaldagroinm01@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
06/01/2021

Aceptado:
28/05/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista:
*ESPAMCIE*NCIA
12(1):25-32

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.234

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia del mucilago de cacao (*theobroma cacao*) en las características fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza artesanal. Se establecieron 4 concentraciones de mucilago de cacao (1, 3, 7 y 10%), en el cual se aplicaron 4 tratamientos y un testigo. Posteriormente se determinó el mejor tratamiento mediante un análisis sensorial con 40 panelistas no entrenados, donde se evaluaron sabor, olor y color; para ello se aplicó un análisis estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis, dando como mejor resultado al tratamiento 1 (1% mucilago-99% mosto). Se procedió a realizar análisis fisicoquímico y microbiológico dando como resultados: Anaerobios: 3,9x104 ufc/ml, mohos: <1x10 upc/ml, levaduras: 1,18x105 upc/ml y los análisis fisicoquímicos: Acidez (expresada como ácido láctico): 0,26%, arsénico: <0,1 mg/dm^3, carbonatación: 3,8 L CO2/L bebida, cobre: 0,088 mg/dm^3, grado alcohólico a 20ºC: 5,3%v/v, hierro: 2,103 mg/dm^3, pH: 4,28, plomo: <0,01mg/dm^3, zinc: 0,087mg/dm^3, En conclusión, con la adición del mucilago del cacao en concentraciones bajas se pueden elaborar cervezas de mucha palatabilidad para el consumidor en cuanto al sabor, olor y color como lo fue el tratamiento 1, con un nivel de significancia del 0,05.

Palabras clave: Mucilago de cacao, cerveza artesanal, evaluación sensorial, propiedades fisicoquímicas, microbiología.

Abstract

The present work aimed to evaluate the influence of cocoa mucilage (*theobroma cacao*) on the physicochemical and sensory characteristics of craft beer. Four concentrations of cocoa mucilage were established (1, 3, 7 and 10%), in which 4 treatments and a control were applied. Subsequently, the best treatment was determined by means of a sensory analysis with 40 untrained panelists, where flavor, odor and color were evaluated; for this, a Kruskal-Wallis non-parametric statistical analysis was applied, giving the best result to treatment 1 (1% mucilage-99% must). Physicochemical and microbiological analyzes were carried out, giving the following results: Anaerobes: 3.9x104 cfu/ml, molds: <1x10 cfu/ml, yeasts: 1.18x105 cfu/ml and physicochemical analyzes: Acidity (expressed as lactic acid): 0.26%, arsenic: <0.1 mg/dm^3, carbonation: 3.8 L CO2/L drink, copper: 0.088 mg/dm^3, alcoholic strength at 20ºC: 5.3% v/v, iron: 2.103mg/dm^3, pH: 4.28, lead: <0.01mg/dm^3, zinc: 0.087mg/dm^3. In conclusion, with the addition of cocoa mucilage in concentrations Low, highly palatable beers can be made for the consumer in terms of taste, smell and color, as was treatment 1, with a significance level of 0.05.

Keywords: Cocoa mucilage, craft beer, sensory evaluation, physicochemical properties, microbiology.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador se cultivan dos tipos de cacao: El cacao CCN-51 y el cacao nacional conocido como cacao fino de aroma. Es probable que por el desconocimiento de las propiedades del mucilago (baba o pulpa de cacao), los productores no aprovechen sus bondades (Caballero y Orozco, 2017). Parte de este mucílago o pulpa es necesaria para la producción de alcohol y ácido acético en la fermentación de las almendras, pero, entre el 5 a 7 % se desecha como exudado (Braudeau, 2001), una sustancia vegetal que es drenada formando parte de una corriente de residuos que afectan a cultivos y al ambiente (Kalvatchev *et al*., 1998). Otro estudio evidenció que el desperdicio del mucilago de cacao es del 72% debido a la reducida innovación agrícola (Sánchez *et al*., 2019). Llegandose a desperdiciar mas de 70 litros por tonelada de este subproducto (Arciniega y León, 2020).

Según estudios realizados en laboratorios de la INIAP (Instituto Nacional de Investigadores Agropecuarias), el mucilago blanco que recubre el grano de cacao proporciona grandes cantidades de azúcares, proteínas y nutrientes que podrían ser aprovechados para la elaboración de otros productos, generando un valor agregado (Tituana, 2017). La gran cantidad de azúcar que posee el mucílago, genera alcohol, convirtiéndose en insumo para la elaboración de cerveza artesanal. Arteaga (2013) Expresa que el mucilago de cacao está compuesto de 10 al 15% de azúcar. Esto es importante debido a que las materias primas utilizadas deben tener altos porcentajes de almidón (Guzmán *et al*., 2019). Otras investigaciones dieron como resultado que el mucilago de cacao promueve el desarrollo de bacterias fermentadoras incluyendo la existencia de antioxidantes que son muy útiles en la prevención de enfermedades cardiacas (Caballero y Orozco, 2017).

Países como Perú utilizan los beneficios de la baba o mucilago de cacao en la elaboración de productos tales como licor, mermelada, jaleas, entre otros. Es posible que, debido a esta experiencia, en Ecuador se utilice este residuo para la elaboración de algunos productos; aunque cabe señalar que no existe una directa intervención de organismos del ramo en asesorar respecto a los beneficios del mucílago, motivo por el que probablemente, al no ser demandado como materia prima por las industrias, algunos agricultores los desechen (Caballero y Orozco, 2017).

La cerveza es uno de los productos más antiguos de la civilización. Los historiadores creen que ya existía en el año 10.000 a.C. (Quintana y Herrera, 2018). Las primeras cervezas artesanales surgieron en Estados Unidos en 1970, fue allí cuando se legalizó la producción de cerveza casera (Jaramillo, 2016).

Existen variedades de cervezas a base de otros productos; cerveza artesanal tipo ale con almidón de papa (Cedeño y Mendoza, 2016), cerveza artesanal utilizando banano de rechazo (Tirado y Zalazar, 2018), cerveza artesanal con cebada malteada de maíz y carbonata con miel (Mencia y Pérez, 2016). Existen investigaciones en la que se demuestra haber utilizado la pasta y polvo de cacao como materia prima para elaborar cervezas artesanales, pero no se ha encontrado evidencia del uso de su mucílago (Soria, 2017).

Lo primero que destaca a las cervezas artesanales de las industriales son sus ingredientes. De forma general los componentes que se emplean en las cervecerías artesanales son; agua, cebadas malteadas, lúpulos y levadura, mientras que, en las industriales se utiliza en arrocillo como un ingrediente de relleno para abaratar costos.

Otros factores que marcan importancia son el cuidado, dedicación y gasificación del maestro cervecero artesanal durante la producción (Bernáldez, 2013); así mismo, no se emplean aditivos ni químicos, que sí se encuentran en las cervezas industriales (Jaramillo, 2016), siendo su elaboración manual o semiautomática con respecto a las industriales (Civitaresi *et al*., 2017). Por otra parte Godoy Zuñiga *et al*. (2018) demostraron que los consumidores locales no conocen la diferencia en el método de producción, los distintos sabores, colores y grado alcohólico más elevado. De esta forma las cervezas artesanales son consideradas un producto natural sin afectar el sabor final del mismo.

Teniendo en cuenta lo expresado, el objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia del mucilago de cacao en las características fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza artesanal, determinando el o los mejores tratamientos con mayor aceptación mediante evaluación sensorial y cumpliendo con las normas y parámetros establecidos por NTE INEN 2262:2013, en relación con el proceso de producción y su control de calidad. Esta investigación servirá como referencia para futuros proyectos enfocados en la producción de cerveza artesanal a base del mucilago de cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

Equipos y materia prima

Equipos de producción e insumos (malla de maceración, termómetros, fermentadores, malla de maceración, cucharon acero inoxidable, densímetro, sifón, manguera, serpentín, botellas ámbar 330mL, olla de acero inoxidable, maltas, lúpulos, levadura), obtenidos de una casa comercial cervecera; materia prima (cacao de la variedad CCN-51) obtenido de una finca ubicada en el cantón Pichincha.

Obtención del mucílago de cacao

Para la obtención del mucilago de cacao se siguió el método de Largo (2016); se realizó un lavado y cortado de forma longitudinal con un cuchillo a la mazorca dejando expuesto a los granos con el mucilago, posteriormente se extrajeron manualmente los granos de la mazorca contenidos en la mazorca para el respectivo, obteniendo así el respectivo mucilago de cacao.

Proceso de elaboración artesanal de la cerveza

Para la elaboración de cerveza artesanal se siguió un diagrama de procesos de 10 pasos (elaboración original), que consistió en la recepción de materia prima, se empleó cebadas malteadas (Pale Ale, CaraAroma, CaraMúnich III y Carafa II), luego se aplicó una molienda en donde se trituró las maltas para continuar con la maceración; en esta etapa se calentó agua en un rango de temperatura de (65-68)ºC en relación 1:3 con referencia al peso de la maltas (1,34kg), se mezclaron los granos con el agua por 120 minutos obteniendo un mosto dulce y permitiendo convertir el almidón contenido en el grano en azucares.

Posteriormente se lavó, clarificó y filtró el mosto dulce en la aspersión, donde se agregó agua a 77ºC de manera lenta y recirculando de 2 – 3 litros hasta aclarar, continuamente se dejó caer el agua resultante y al mismo tiempo se evacuó el mosto en un nuevo recipiente. Esta acción finalizó cuando se obtuvo 10000mL de mosto deseado en relación mosto–mucilago con sus respectivos porcentajes, seguidamente se midió grados Brix para llevar un control. Continuando con la cocción, se elevó a temperatura de ebullición (>=100ºc) el mosto con el mucilago de cacao y se agregó en un intervalo de tiempo determinado (0-60 minutos) los lúpulos de amargor y sabor (inicio de ebullición, 0 minutos) y aroma (50 minutos después de ebullición). Pino *et al*. (2018) expresa que la cocción del mosto a temperatura de ebullición es hecha por varias razones, provocar la desnaturalización de la enzima malta y la esterilización de este.

En la siguiente etapa se enfrió el mosto en un recipiente con hielo hasta llegar en un rango de temperatura (24 -30) ºC para proceder a la fermentación en donde se usó levadura (5,4g); para esto se pasó el mosto frio a un recipiente fermentador en el cual se ubicó la levadura dejando fermentar por 6 días. Al finalizar la fermentación se midió grados Brix para llevar un control, luego se filtró la cerveza utilizando un colador de acero inoxidable y un sifón que permitió obtener una cerveza clara con la menor cantidad de sedimentos.

Para el embotellamiento se adicionó azúcar previa hidratación a la cerveza contenida en el fermentador para gasificar, para el embotellamiento, se utilizaron botellas de 330 mL. Finalmente, para una segunda fermentación por acción de las levaduras faltantes, se almacenaron las botellas con cerveza por 7 días a temperatura ambiente y 5 días a temperatura de refrigeración (4ºC), este proceso ayudó a la generación de espuma, obteniendo el sabor final de la cerveza.

Tratamientos

Cuadro 1. Tratamientos con diferentes porcentajes de mucilago de cacao y mosto de cerveza

Tratamientos	Código	Mosto (%)	Mucílago(%)
1	T1	99	1
2	T2	97	3
3	T3	93	7
4	T4	90	10
Testigo	TT	100	0

T1: Tratamiento 1, T2; Tratamiento 2, T3: Tratamiento 3, T4: Tratamiento 4, TT: Testigo

La determinación del tratamiento con mayor aceptación se realizó mediante una evaluación sensorial a 40 panelistas no entrenados, en el cual se aplicó una escala hedónica de 5 puntos; donde 1 es el valor más bajo y 5 el más alto. Permitiendo determinar el mejor resultado (tratamiento 1; 1%mucilago de cacao), para evaluar sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

Evaluación fisicoquímica

El contenido alcohólico, acidez total expresado como ácido láctico, carbonatación, pH, contenido de hierro, cobre, zinc, arsénico y plomo (evaluación fisicoquímica) se realizó de acuerdo con la NTE INEN 2262.

Evaluación microbiológica

Los microorganismos anaerobios, mohos y levadura (análisis microbiológico) se realizó de acuerdo con la NTE INEN 2262:2013 en el laboratorio de CE.SE.C.CA de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. (NTE INEN 2262, 2013)

Ensayo experimental y análisis estadístico

Para el ensayo se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) unifactorial con tres repeticiones por tratamiento y un testigo. Mientras que para el análisis estadístico de las variables estudiadas en la evaluación sensorial los datos fueron sometidos a los supuestos del análisis de varianza ANOVA (normalidad y homocedasticidad), posterior al no cumplimiento de los supuestos del ANOVA se procedió a aplicar la prueba de contrastes de Kruskal Wallis, los datos se analizaron mediante el programa SPSS versión libre V24.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 2 muestra el resumen de la prueba de contrastes de Kruskal-Wallis; comprobando que para el atributo sabor existe diferencia significativa (<0,05). Mientras que en los atributos olor y color no se observan diferencias significativas (>0,05).

Cuadro 2. Resumen de la prueba de (Kruskal Wallis)

Hipótesis nula	Prueba	Sig.
La distribución de sabor es la misma entre las categorías de tratamientos	Prueba de Kruskal Wallis para muestra independientes	,000
La distribución de olor es la misma entre las categorías de tratamientos	Prueba de Kruskal Wallis para muestra independientes	339,000
La distribución de color es la misma entre las categorías de tratamientos	Prueba de Kruskal Wallis para muestra independientes	361,000

Se muestran significaciones asintóticas. el nivel de significación es de 0,05

En los atributos olor y color, al no existir diferencia significativa, Barrachina (2014) expresa que el olor de la cerveza suele provenir de productos añadidos durante la elaboración, por lo cual se asume que no hubo influencia del mucilago de cacao en el olor.

Gonzáles (2017) indica que, el color de la cerveza proviene de la mezcla de los diferentes granos de tostado de la malta el cual proporciona una gama de colores, datos que se comprueban en esta investigación donde se obtuvo una cerveza con un SRM (Standard Reference Method) aproximado de 23. Resultado que fue evaluado mediante observación directa en una tabla según la guía de Strong y Englank (2015), por lo que el mucilago de cacao CCN-51 no reflejó un cambio significativo, resultado que se comprueba según lo que expresa Vallejo (2016) en su investigación, afirmando que el color del mucilago de cacao variedad CCN-51 es miel claro.

Los resultados del atributo sabor mostrado en el cuadro 3 demuestran que el mejor tratamiento fue el T1 (1%mucilago de cacao-99%mosto), mientras que los de baja aceptación fueron el testigo (100% mosto) y el tratamiento T3 (7%mucilago de cacao-93%mosto).

Cuadro 3. Subconjuntos Homogéneos basados en sabor

		Subconjunto	
		1	2
Muestra 1	Testigo	81,413	
	T3	90,763	
	T4	94,900	
	T2	98,650	
	T1		136,775
Estadístico de contraste		2,556	,2
Sig. (prueba 2lateral)		,465	
Sig. Ajustada (prueba 2lateral)		,465	

Los subconjuntos homogéneos se basan en significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05

Resultado que coincide con lo expresado por Gonzáles (2017) quien menciona que los adjuntos cerveceros deben ser añadidos en cantidades que no afecten significativamente el contenido sacarino del mosto ni desnivelen el sabor con exceso de acidez y astringencia.

Por lo anterior, se piensa que la inclusión de mucilago de cacao no afectó las características sensoriales olor y color de la cerveza artesanal. Esto coincide con Cedeño y Mendoza (2016) quienes obtuvieron resultados satisfactorios al realizar una cerveza artesanal con almidón de papa como adjuntos y especias. Sin embargo, Cinkmains *et al*. (2014) obtuvieron resultados adversos al incluir ajenjo en la elaboración de cerveza artesanal, debido a su amargor.

Evaluación Fisicoquímica.

Para cada uno de los parámetros fisicoquímicos evaluados se siguió el método de ensayo correspondiente de acuerdo con la NTE INEN 2262: 2013 que incluye los requisitos específicos de las cervezas. En el cuadro 4 se observan los distintos resultados obtenidos como las unidades de medida de cada variable. Se puede observar que los diversos parámetros obtuvieron los siguientes valores; acidez (expresada como ácido láctico): 0,26%, Arsénico: <0,1 mg/dm^3, carbonatación: 3,8 L CO_2/ L bebida, cobre: 0,088 mg/dm^3, grado alcohólico (20ºC): 5,3 v/v, hierro: 2,103 mg/dm^3, pH: 4,28 (unidades de pH), plomo: p<.01 mg/dm^3 y zinc: 0,087 mg/dm^3. Todos los resultados a excepción del parámetro carbonatación e hierro se encuentran dentro del rango de los valores de referencia establecidos por la NTE INEN 2262.

El parámetro de carbonatación excede en su valor: 3,8 L CO_2/L bebida con respeto al que establece la norma; que determina un máximo 3,5 L CO_2/L bebida. Resultado que pudo ser influenciado por un exceso en la cantidad de azúcar utilizado para la gasificación natural y de igual forma por la inclusión del mucílago de cacao, que de acuerdo con estudios realizados en laboratorios de la INIAP demuestran que el mucilago de cacao proporciona grandes cantidades de azúcares. Siendo este insumo un

factor muy determinante en la carbonatación (generación de gas CO_2). De igual forma Kunze y Manger (2006) indican que entre más CO_2 se encuentre disuelto en la cerveza más espuma se formara, algo que es apreciable cuando reposa más tiempo la cerveza.

Mientras que el parámetro de hierro excede en su valor: 2,103 mg/dm^3 con respecto al que establece la norma, que determina un máximo de 0,2 mg/dm^3. Esto concuerda con lo obtenido por Chávez (2019) quien desarrollo un estilo de cerveza artesanal tipo Weissbier y obtuvo resultados elevados 1,03 y 0,94mg/dm^3 respectivamente, indicando que esto pudo deberse a que los parámetros establecidos en la NTE INEN 2262:2013 son para cervezas industriales más no para artesanales, de igual forma indica que los sustratos que se usan tienen grandes cantidades de hierro. En este caso la semilla de cacao contiene 3,6 mg/100 g hierro mientras que la cebada malteada contiene 4,7 mg/100 g de hierro de acuerdo con base de datos internacional de composición de alimentos (FUNIBER, 2017). Es por ello por lo que la cantidad de hierro presente en esta investigación sobrepasa el límite establecido por la norma antes mencionada.

Cuadro 4. Valores obtenidos de la evaluación fisicoquímica realizada a la cerveza

Parámetros	Resultados	Valores de referencia
Acidez (%)	0,26	Max. 0,3
Arsénico (mg/dm^3)	<0,1	Max. 0,1
Carbonatación (L CO_2/L b_{ebida})	3,8	Min. 2,2 - Max. 3,5
Cobre (mg/dm^3)	0,088	Max. 1,0
Grado alcohólico (%v/v)	5,3	Min. 1,0 – Max. 10,0
Hierro (mg/dm^3)	2,103	Max. 0,2
pH (Unidades.pH)	4,28	Min. 3,5 – Max. 4,8
Plomo (mg/dm^3)	<0,01	Max. 0,1
Zinc (mg/dm^3)	0,087	Max. 1,0

Con respecto a la acidez, Panda *et al*. (2015) indican que la acidez en la cerveza se debe a que la fermentación alcohólica que es un proceso bioquímico complejo en el que el aumento de acidez se atribuye a una serie de conversiones que ocurren en el medio, las levaduras responsables del proceso fermentativo tienen la función de excretar nucleótidos, ácidos orgánicos y dióxido de carbono, el cual aumenta la acidez de la cerveza. Por su parte Terán (2017) en la evaluación de la utilización de amaranto para la elaboración de cerveza artesanal tuvo un valor a 0,3%, mientras que Tirado y Zalazar (2018) quienes determinaron la calidad de la cerveza en sustituir la cebada por el banano de rechazo obtuvieron resultados de 0,24% y 0,25%, resultados que se encuentran dentro de los rangos de referencia de la NTE INEN 2262:2013. Sin embargo, de acuerdo con Galarza (2018) Quien obtuvo 0,37% de acidez en la cerveza, Expresa que rangos mínimamente superiores no compromete la salud de los posibles consumidores.

Los resultados del pH se asemejan a Fuentes y Fuentes (2014) quienes mencionan que los valores de pH menores a 4,2 produce acidez y valores de 4,7 provocan la activación de microorganismos, por lo que es importante evitar la activación de agentes patógenos para obtener el sabor característico de la cerveza. Suárez *et al*. (2016) Manifiesta que la mayoría de las levaduras les favorece un medio ligeramente ácido con un pH entre 4,5 a 6,5. Otros estudios indican que el pH ideal de *Saccharomyces cerevisiae* es de 4 a 5,5 (Salari y Salari, 2017). Mientras tanto Mencia *et al*. (2016) quienes elaboraron cerveza artesanal con malta de maíz, obtuvieron resultados en un rango entre 4,1 a 4,4. De igual forma Di Ghionno *et al*. *(*2017) obtuvieron valores de pH similares en elaborar una cerveza sin gluten 4,23, resultados que concuerdan a lo obtenido en esta investigación

En la determinación del grado alcohólico de la cerveza artesanal Suárez (2013) expresa que cuanto más denso sea el mosto, mayor alcohol tendrá la cerveza. El valor que se obtuvo para el tratamiento T1 (1% mucilago de cacao – 99% mosto) fue de 5,3%v/v, esto concuerda con lo obtenido por Tirado *y Zalazar* (2018) quienes obtuvieron valores de 5,78%v/v en el T1 (25% banano +75% mezcla de cebadas), mientras que en el T2 (50% banano + 50% mezcla de cebadas) obtuvieron 7,11% v/v. afirmando que a mayor densidad en el mosto mayor será el grado alcohólico. Hay que destacar que se pueden formar alcoholes superiores a causa de las levaduras en la fermentación, siento esto un aspecto muy importante en el flavor de la cerveza (Loviso y Libkind, 2019).

Los resultados obtenidos de cobre: 0,088 mg/dm3 concuerdan con los obtenidos por Chávez (2019) en su investigación (0,28 a 0,36mg/dm^3) estando dentro de los valores de referencia que indica la NTE INEN 2262:2013 que establece un valor máximo para este parámetro de 1,0, por su parte Centrone (2014) Indica que "En distintas cocciones de cerveza proveniente de la misma cervecería, poseen diferentes concentraciones de cobre y destaca la importancia de una remoción rápida de la levadura del mosto fermentado, del que se sugiere que podría excretarse cobre al mosto, en la etapa final de la fermentación".

En los resultados obtenidos de zinc: 0,087mg/dm^3 están dentro de los valores de referencia que indica la NTE INEN 2262:2013 al igual que Chávez (2019) quien obtuvo 0,41 a 0,79mg/dm^3. Gigliarelli (2017) Expresa que la malta de cebada es la que contiene la cantidad adecuada de zinc que necesita la levadura para el crecimiento de esta.

Los resultados obtenidos de arsénico y plomo fueron valores muy bajos; <0,01mg/dm^3, casi nulos; comprobando que no hay presencia de estos metales en la cerveza encontrándose dentro de lo permitido por la NTE

INEN 2262:2013 que establece un valor máximo de arsénico y plomo de 0,1mg/dm^3. Resultados similares a Chávez (2019) quien en su investigación obtuvo resultados muy bajos de arsénico 0,0002 mg/L y de plomo 0,09mg/L respectivamente.

Evaluación microbiológica

Para cada uno de los parámetros microbiológicos evaluados se siguió el método de ensayo correspondiente de acuerdo con la NTE INEN 2262: 2013 que incluye los requisitos específicos de las cervezas. En el cuadro 6 Se observan los distintos resultados obtenidos, en donde; los diversos parámetros obtuvieron los siguientes valores; Anaerobios: 3,9x104UFC/ml, Mohos: <1x10UPC/ml, levaduras: 1,18x105UPC/ml. Como se puede apreciar los resultados de Anaerobios y levaduras sobrepasan los valores de referencia establecido por la NTE INEN 2262:2013, que especifica un valor Max. 10. Mientas que el resultado de mohos <1x10 UPC/ml se encuentra dentro del valor de referencia que estipula la norma mencionada que es un Max. 10.

Cuadro 6. Valores obtenidos de la evaluación microbiológica realizada a la cerveza artesanal

Parámetros	Unidades	Resultados	Valores de referencia
Anaerobios	UFC/ml	3,9x10^4	Max. 10
Mohos	UPC/ml	<1x10	Max. 10
Levaduras	UPC/ml	1,18x10^5	Max. 10

Los elevados resultados en Anaerobios y Levaduras se podrían asumir debido a que la cerveza no fue pasteuriza, datos que se asemejan a los obtenido por García (2015), alcanzando valores muy por encima de lo estipulado de acuerdo con la NTE INEN 2262:2013.

CONCLUSIONES

Se concluye que con la adición de subproductos derivados del cacao (mucilago) en concentraciones bajas (1%) se pueden obtener cervezas de mucha palatabilidad para el consumidor en cuanto a las características sensoriales sabor, olor y color.

Las características fisicoquímicas no se ven afectadas por la adición de este subproducto, a pesar de que en esta investigación los valores de hierro y cobre se encontraron fuera del rango con respecto a la NTE INEN 2262:2013, lo que se puede atribuir a las características propias del mucilago o al tipo de material utilizado en la elaboración de la cerveza.

Los parámetros microbiológicos analizados en esta investigación (anaerobios y levaduras) que salieron excedidos con lo que respecta a la NTE INEN 2262:2013, se podría atribuir a que la cerveza no fue pasteurizada antes de realizarle los análisis.

LITERATURA CITADA

Arciniega-Alvarado. y Espinoza-León, R. 2020. Optimización de una bebida a base del Mucílago del Cacao (Theobroma cacao), como aprovechamiento de uno de sus subproductos. Revista Dominio de las Ciencias, 6(3): 310-326.

Arteaga, EY. 2013. Estudio Del Desperdicio Del Mucilago De Cacao En El Cantón Naranjal. Revista ECA Sinergia 4: 4. Revista ECA Sinergia, 4(1): 49-59(5-18).

Barrachina, A. 2014. La nariz sabe: Los aromas que puede tener una cerveza. Cerveza Artesanal. Obtenido de https://www.cervezartesana.es/

Bernáldez-Camiruaga, A. 2013. Cerveza artesanal en México: ¿soberanía cervecera y alimentaria?. CULINARIA Revista virtual especializada en Gastronomía, 6: 56-63.

Braudeau, J. 2001. El cacao: Técnicas Agrícolas y Productos Tropicales. Barcelona, España: Blumé. p 297.

Caballero, K. y Orozco, K. 2017. Proyecto de Factibilidad de la Industria productora de Licor, Zumo y Mermelada de Mucilago de Cacao en la Ciudad de Guayaquil. [Tesis de Grado Ingeniería comercial]. [Guayaquil, Ecuador] Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

Cedeño, A. y Mendoza, J. 2016. Evaluación Fisicoquímica y Sensorial de Cerveza Artesanal Tipo Ale con Almidón de Papa como Adjunto y Especias. [Tesis de Grado]. [Calceta, Ecuador] Escuela Superior Politécnica de Manabí.

Centrone, C. 2014. cerveceros caseros. Obtenido de http://www.cerveceroscaseros.com.ar/interior/herram_manuales.php?aj_go=more&

Chávez, J. 2019. Desarrollo de un estilo de cerveza artesanal Weissbier "ideal", mediante caracterización sensorial por método cata y pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en tres formulaciones. [Tesis de Grado] . [Quito, Ecuador] Universidad Central del Ecuador.

Cinkmains, I., Straumite, E. y Caskte, I. 2014. Sensory evaluation of drink. Revita Científica (31): 25-32 .

Civitaresi, M., Niembro, A. y Buhler, MD. 2017. Desafíos para desarrollar una agroindustria local. Hacia una tipología de productores de cerveza artesanal en

Bariloche. Revista Pymes, Innovación y Desarrollo, 5(19): 41-62.

Di Ghionno, L., Sileoni, V., Marconi, O., De Francesco, G. y Perretti, G. 2017. Comparative study on quality attributes of gluten-free beer from malted and unmalted teff. Revista LWT - Food Science and Technology, 84: 746-752.

Fuentes, A. y Fuentes, E. 2014. Obtención de cerveza artesanal tipo ale oscura utilizando un equipo biorreactor de nivel piloto. [Tesis de grado]. [Ibarra, Ecuador] Universidad Técnica del Norte.

FUNIBER (Fundación Universitaria Iberoamericana | Ecuador). 2017. Base de datos internacional de composición de alimentos . Obtenido de https://www.composicionnutricional.com/alimentos/buscar.php

Galarza Vera, AE. 2018. Elaboración de cerveza amber ale de alta fermentación saborizada y aromatizada con frutas y plantas arómatica ecuatorianas. [Tesis de Grado Ingeniería Química]. [Quito, Ecuador] Universidad Central de Ecuador.

García Bazante, KB. 2015. Elaboración de cerveza artesanal a partir de almidón extraído de tubérculos andinos. [Tesis de Grado]. [Riobamba. Ecuador] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Gigliarelli, P. 2017. La cerveza: fermentación. Revista Mash Ciencia Cervecera . Obtenido de https://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=379

Godoy-Zuñiga., ME, Barbery-Montoya., DC, Toro-Orellana., PJ, Trujillo-Cucalón, DM. y Romero Básconez, AF. 2018. El marketing de cerveza. Una perspectiva del consumidor guayaquileño. Revista ESPACIOS, 39(37): 1.

Gonzáles, M. 2017. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. North Carolina, USA : Lulu Enterpises.

Guzmán-Ortiz, F., Soto-Carrasquel, A., López-Perea, P. y Román-Gutiérrez, A. 2019. Valuation and use of a new variety of barley for brewing craft beer. Revista Ingeniería agrícola y biosistemas, 11(1): 81-95.

Kalvatchev, Z., Garzaro, D., y Cedezo, F. 1998. Theobroma de cacao L.: Un nuevo enfoque para la nutrición y salud. *Revista agroalimentaria, 4(6): 23-25*.

Jaramillo, P. 2016. Cervezas artesanales, un mercado que emerge bien. Revista Gestión, (269): 1-6.

Kunze, W. y Manger, H. 2006. Tecnología para Cerveceros y Malteros. 1ra edición en español. VLB Berlín.

Largo Tomalá, SV. 2016. Elaboración de Néctar Natural de Cacao a Partir del Mucílago. [Tesis de Grado Ingeniería en Alimentos]. [Guayaqui, Ecuador] Escuela Superior Politécnica de Litoral .

Loviso, CL. y Libkind, D. 2019. Síntesis y regulación de los compuestos del aroma y sabor derivados de la levadura en la cerveza: alcoholes superiores. Resvista Argentina de Microbiología, 51(4): 386-397.

Mencia Sánchez, GA. y Pérez Gallegos, RD. 2016. Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (Zea mays), cebada (Hordeum vulgare), carbonatada con azúcar y miel de abeja. [Tesis de Grado]. [Honduras] Escuela Agrícola Panamericana . Obtenido de Ecocosas.

NTE INEN 2262. 2013. Bebidas alcohólicas. cerveza Requisitos. Quito - Ecuador, Ec.

Panda, S., Swain, M., Ray, R. y Kayitesi, E. 2015. Anthocyanin-rich sweet potato (ipomoea batatas L.) Beer. Technology, Biochemical and sensory evaluation. Journal of Food Processing and Preservation, 39(6): 3040-3049.

Pino-Hurtado, MS., Gallardo-Aguilar, I. y Pérez-Pentón, M. 2018. Estudio experimental de las etapas de maceración y fermentación para la obtención de cerveza a partir de malta de sorgo . Revista Centro Azúcar, 45(3): 52-64.

Quintana-Lombeida, MD. y Herrera, JA. 2018. Evaluación de las cervezas artesanales de producción nacional y su maridaje con la cocina ecuatoriana. INNOVA Research Journal, 3(8); 332-346 .

Salari, R. y Salari, R. 2017. Investigation of the best Saccharomyces cerevisiae growth condition. Revista Electronic physician, 9(1): 3592.

Sánchez, D., Castro, D., Rodríguez, W. y Trujillo, E. 2019. Respuesta agronómica de mucilago de cacao (Theobroma cacao L.) en cultivo de maíz (Zea mays L.). Revista Ciencia en Desarrollo, 10(2): 43-58.

Soria Ludiasaca, JA. 2017. Diseño de un proceso industrial para la elaboración de cerveza artesanal a base de cebada (Hordeum Vulgare) y cacao de fino aroma (Theobroma Cacao). [Tesis de grado Ingeniería Química]. [Chimborazo, Ecuador] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo .

Strong, G. y England,K. 2015. Beer Judge Cerification Program. Guía de Estilos. Edición en Español. España. 108 pp .

Suárez, M. 2013. Cerveza: Componentes y propiedades. [Tesis de Maestría] . [Oviedo, España] Universidad de Oviedo.

Suárez-Machín, C., Garrido-Carralero, NA. y Guevara-Rodríguez, CA. 2016. Levadura Saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol. Revista ICIDCA. Sobre los Derivados de la caña de Azúcar, 50(1): 20-28 .

Terán, S. 2017. Evaluación de la utilización de amaranto (amaranthus spp) como abjunto y dos cepas de levadura (saccharomyces cerevisiae) en la fabricación de cerveza. [Tesis de grado] . [Quito, Ecuador] Escuela Politécnica Nacional.

Tirado Vera, JW. y Zalazar Rosado, GM. 2018. Banano (cavendish gigante) de rechazo como sustitución parcial de cebada en la calidad fisicoquímica y sensorial de la cerveza artesanal. [Tesis de Grado Ingeniería Agroindustrial]. [Calceta, Ecuador] Escuela Superior Politécnica de Manabí.

Tituana, AV. 2017. Plan de negocio para la producción y exportación de mermelada a base de mucilago de cacao en la ciudad de Quevedo hacia el mercado Canadiense. [tesis de grado Ingeniera en Negocios Internacionales]. [Quito, Ecuador] Universidad de las Américas.

Vallejo, TC., Días, R., Morales, W., Soria, R., Baren, C. y Vera, J. 2016. Utilización del mucílago de cacao tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. Revista ESPAMCIENCIA, 7(1): 51-58.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

INFLUENCIA DE UN NUEVO BIOESTIMULANTE SOBRE LA FLORACIÓN, FRUCTIFICACIÓN Y RENDIMIENTO EN CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

INFLUENCE OF A NEW BIOSTIMULANT ON FLOWERING, FRUCTIFICATION AND YIELD IN COFFEE (*Coffea arabica* L.)

Yeiner Chacón- Villalobos[1], Adriana Chacón- Sancho[1], Mariano Vargas- Chinchilla[1], Josep Mª Cerdà - Subirachs[2], Ricardo Hernández- Pérez[3]

[1]Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. CP. 281-1000. Teléfono (506) 2240-8645.
[2]Export/Área Manager Bioiberica S.A.U. Av. Dels Països Catalans, 34, 08950 Esplugues de Llobregat, Barcelona. España.
[3]TecNM /Instituto Tecnológico de Zacatepec. Calzada Tecnológico No. 27, Col. Centro. Zacatepec, Morelos. C.P 62780.

Email: santaclara57@yahoo.es

Información del articulo

Tipo de artículo: Artículo original

Recibido: 30/11/2020

Aceptado: 31/05/2021

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA 12(1)33-40

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.226

Resumen

Una de las limitantes que se han venido presentando en el cultivo del café en la región centroamericana han sido las variables climáticas, en que las altas temperaturas, junto con los niveles de luz ultravioleta, así como las precipitaciones y su intensidad, han causado serios problemas para el desarrollo del cultivo. Existiendo desequilibrios fisiológicos causantes de pérdidas en la estimulación y cuajes florales, llegando según la variedad, a mermas superiores al 60%. El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia del nuevo bioestimulante sobre la floración, maduración y calidad de los frutos en el cultivo del café. Aplicado durante los años 2018 y 2019, en una finca de café localizada en la provincia de Alajuela, cantón San Pedro de Póas, Finca La Hilda, Lote Murillo, Costa Rica. Se evaluó el efecto de un producto bioestimulante, certificado para producción en agricultura ecológica. Se compararon dos tratamientos aplicados foliarmente a dosis 3 $L.ha^{-1}$ en dos y tres aplicaciones y un testigo absoluto, evaluándose la estimulación y cuaje floral, nudos productivos para el próximo ciclo y calidad de los frutos. El empleo del bioestimulante a base de extracto de algas mostró resultados positivos en las fases de diferenciación, estimulación y cuajado del grano respecto al testigo, representando una alternativa ecológica viable con influencia favorable en la floración, maduración y un aumento del rendimiento hasta 74%.

Palabras clave: inductores, fructificación, cambio climático, alternativa ecológica.

Abstract

One of the limitations that have been presented in the cultivation of coffee in the Central American region have been climatic variables, in which high temperatures, together with ultraviolet light levels, as well as rainfall and its intensity, have caused serious problems for the development of the crop. There are physiological imbalances that cause losses in stimulation and flower setting, reaching losses of more than 60% depending on the variety. The objective of this work was to evaluate the influence of the new biostimulant on the flowering, ripening and quality of the fruits in coffee cultivation. Applied during the years 2018 and 2019, in a coffee farm located in Alajuela province, San Pedro de Póas canton, *Finca* La Hilda, *Lote* Murillo, Costa Rica. The effect of a biostimulant product, certified for production in organic farming, was evaluated. Two treatments applied foliarly at a dose of 3 $L.ha^{-1}$ in two and three applications and an absolute control were compared, evaluating the stimulation and floral setting, productive nodes for the next cycle and quality of the fruits. The use of the biostimulant based on algae extract showed positive results in the differentiation, stimulation and fruit set phases with respect to the control, representing a viable ecological alternative with a favorable influence on flowering, inducers, fruiting, climate change, ecological alternative.

Keywords: inducers, fruiting, climate change, ecological alternative.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los principales productos en el ámbito mundial; más del 80% de la producción se destina al comercio internacional según indica la OIC (2014).

La caficultura tiene gran relevancia económica y social en Costa Rica (Paiva, 2000), siendo el café, el cultivo permanente con más extensión en el país (SEPSA, 2015), altamente susceptible a los cambios en los patrones de temperatura y precipitaciones (Bunn *et al*., 2015; Chia *et al*., 2019) y al impacto de los eventos climáticos extremos, como las lluvias torrenciales o los huracanes (Schroth *et al.,* 2009).

En los últimos años, algunos de los principales departamentos cafeteros en Costa Rica han presentado transformaciones importantes por los retos que han enfrentado no solo por los cambios en el mercado, sino también por situaciones provocadas por el cambio climático, que los han llevado a tomar nuevas alternativas para la producción eficiente del grano. Entre 2018 y el 2019, Costa Rica produjo 1,7 millones de fanegas (1 fanega = 258 kg), cuando el promedio histórico superaba los 2 millones anuales (Matamoros *et al.,* 2020).

La producción de café es un proceso fisiológico que involucra distintos cambios fenológicos donde la etapa reproductiva comienza desde la inducción e iniciación floral, cuando solo se observa un hinchamiento en la axila de la hoja, del cual posteriormente emergerán yemas diferenciadas de 2,0 mm (Arcila *et al*., 2002).

En especies frutales las condiciones ambientales, la actividad hormonal, el contenido de carbohidratos y la nutrición mineral, afectan los procesos de inducción, diferenciación y apertura de flores (Reddy y Majmudar, 1985; Bernier, 1988). En este contexto, la sincronización natural de los patrones reproductivos (floraciones) con la distribución de las precipitaciones propicia múltiples eventos de floración sobre un largo período de tiempo, lo que repercute en múltiples recolecciones selectivas de frutos maduros de café realizadas de forma escalonada durante el tiempo de cosecha (Unigarro *et al.*, 2019).

El uso de los bioestimulantes a lo largo de los años ha mostrado grandes ventajas en la motivación y aceleración de procesos fisiológicos en las plantas cultivadas, los que consumen escasa energía no renovable y no son contaminantes del medio ambiente (Díaz y Márquez, 2011).

La utilización de estos en la agricultura tales como: bioplaguicidas, biofertilizantes y activadores de la floración y fructificación, han sido logros importantes. Así mismo, se ha comprobado que los extractos de algas marinas son efectivos para potenciar procesos fisiológicos en plantas, dada la alta concentración de sustancias bioquímicas que hacen más eficiente el desarrollo vegetal (Cargua *et al*., 2019).

En el tema de café se han realizado algunos estudios para evaluar el efecto del ácido giberélico (GA_3) sobre la magnitud y la distribución de la floración y la producción, donde la aplicación de GA_3 (100 $mg.L^{-1}$) indujo la uniformidad de yemas florales y aumentó la apertura floral (Ramaiah y Venkataramanan, 1988).

En otros cultivos perennes como el mango, la aplicación foliar de nitrato de potasio (KNO_3) ha sido utilizada para estimular la floración, la retención de frutos y la producción por árbol (Oosthuyse, 2015).

Algunos bioestimulantes fueron empleados por Moisés *et al*. (2015) para aumentar los procesos de absorción y translocación de nutrientes en las plantas; dado que estos permiten mejorar el desarrollo del cultivo cuando interactúan creando simbiosis entre sí.

Dentro de estos bioestimulantes se destaca un preparado a base de extracto de algas, como acción sinérgica, empleado en el proceso de cuajado en frutos; producto natural y ecológico que estimula los procesos fisiológicos. Contiene un balance de L-α-aminoácidos específicos, polisacáridos (como ácido algínico y manitol, entre otros) y betaínas procedentes de un extracto seleccionado de algas (*Ascophyllum nodosum*), lo que permite una mejor regulación fitohormonal de la planta, y optimiza los procesos de división celular y movilización de reservas, actuando en los órganos en crecimiento, manteniendo su equilibrio fisiológico, empleándose en cultivos como: cítricos, olivo, frutos rojos, hortalizas de frutos, cereales, frutos tropicales, lo que otorga resultados alentadores en la floración y producción de frutos (BIOIBÉRICA, 2019).

En este contexto, la caficultura busca incrementar la rentabilidad del negocio cafetero y una de las vías es a través del estímulo del proceso de floración, el cual a su vez incide en la producción por lo que se impone la necesidad de valorar el uso de un bioestimulante en el cultivo del café, buscando respuestas favorables ante las dificultades que han experimentado en la floración, fructificación y amarre del grano, provocado por trastornos fisiológicos derivados del impacto del cambio climático.

Teniendo en cuenta las investigaciones precedentes, se propone como objetivo del estudio evaluar la influencia de un bioestimulante a base de un extracto de algas sobre la floración, maduración y calidad de los frutos en el cultivo del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó desde julio del 2018 hasta diciembre del 2019, en una finca de café localizada en la provincia de Alajuela, cantón San Pedro de Póas, finca La Hilda, Lote Murillo, Costa Rica, ubicada geográficamente a los 10º4´31.325" de Latitud Norte y -84º14´42.316" de Longitud Oeste (Figura 1), a una altura sobre el nivel medio del mar de 1.116 m, predominado los suelos rocosos, con topografía ondulada y poco profundos (SEPSA, 2015).

Figura 1. Localización geográfica de la finca comercial de café: La Hilda, cantón San Pedro de Póas, Lote Murillo, provincia Alajuela, Costa Rica.

Se emplearon plantas de café (*C. arabica*) de la variedad Sarchimor (T5296) de 25 meses de plantada. Todas las prácticas agrícolas aplicadas a la plantación durante la fase experimental se mantuvieron de acuerdo con el manejo tradicional del cultivo, desde el control de malezas hasta la aplicación de productos químicos empleados en la vigilancia de problemas fitosanitarios.

Bioestimulante evaluado

Se evaluó el efecto sobre la floración, maduración y calidad de los frutos de café por la aplicación del nuevo inductor, compuesto por L-α-aminoácidos específicos, polisacáridos y betaínas, procedentes de un extracto seleccionado de algas (*Ascophyllum nodosum)* (BIOIBÉRICA, 2019).

Diseño experimental

El estudio fue instalado en un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Se evaluaron 12 plantas por tratamiento, sembradas a una distancia de plantación de 2,35 m x 1,00 m., evaluándose un total de 48 plantas. Los tratamientos y número de aplicaciones se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos y número de aplicaciones con el Bioestimulante en cafetales en Alajuela, Costa Rica.

Tratamientos	N° aplicaciones	Momento de la aplicación		
1	2	Julio 2018 (1ª quincena)	Marzo 2019 (2ª quincena)	
2	3	Julio 2018 (1ª quincena)	Marzo 2019 (2ª quincena)	Mayo 2019 (1ª quincena)
3	0	Sin aplicación		

Aplicación de los tratamientos

Se aplicaron 3 L.ha^{-1} del bioestimulante en tratamientos con 2 y 3 aplicaciones al follaje, en dos épocas, empleando una bomba de alta presión marca ECHO, con capacidad de 25 L de doble pistón con boquillas tipo MN-D-6 y un gasto por boquilla de 1,16 L/min.

Las variables evaluadas fueron: número de nudos en producción, estimulación y cuaje floral, nudos productivos para el próximo ciclo y calidad de los frutos. Para determinar la estimulación floral se cuantificó el número de frutos cuajados en las bandolas 10-20-30, y se registró el número de frutos cuajados entre nudos.

- Frutos cuajados entre 6 y 10 nudos
- Frutos cuajados entre 11 y 15 nudos
- Frutos cuajados entre 16 y 20 nudos
- Frutos cuajados mayor a 20 nudos

Con respecto a la calidad de los frutos se analizó el peso y densidad del fruto cereza, porcentaje de fruto vano, niveles de grados Brix, frutos cereza por litro y rendimiento por hectárea.

Los datos de las variables analizadas se sometieron a un proceso de verificación de normalidad y homogeneidad de varianza. Una vez cumplidos los supuestos paramétricos, fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, 0,05). El software estadístico utilizado fue el SAS 9.1 (SAS, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de nudos en producción

El mayor número de nudos en producción, se logró al aplicar el bioestimulante en dosis de 3 L.ha^{-1} con dos y tres aplicaciones foliares sobre el cultivo (1ª diferenciación, julio 2018, 2ª estimulación, marzo 2019 y 3ª en el cuaje, mayo 2019) (Gráfico 1). Con 2 aplicaciones se alcanzaron los mayores valores (612 nudos como promedio en producción), con diferencias estadísticas significativas respecto al Testigo, pero sin diferencias cuando se realizaron 3 aplicaciones. En ambos tratamientos se lograron más de 400 nudos en producción,

mientras que el testigo se mantuvo por debajo de este valor.

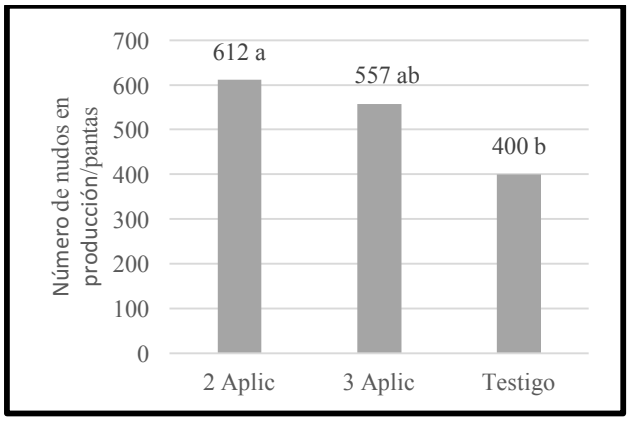

Gráfico 1. Promedio del número de nudos en producción en el cultivo del café con la aplicación del Bioestimulante en Alajuela, Costa Rica.

Promedios con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p< 0,05).

La respuesta fisiológica de la planta de café con respecto al bioestimulante fue significativa, debido al efecto potencializador metabólico y regulador del crecimiento, generado en la planta, lo cual influye en el cuajado de los frutos (BIOIBÉRICA, 2019). Según Du Jardín (2015), los bioestimulantes activan en la planta algunos compuestos orgánicos (fenoles, vitaminas, polisacáridos, betaínas que regulan el desarrollo y el balance fisiológico en el cultivo.

Arcila *et al*. (2007) plantearon que los nudos de las ramas son importantes porque en ellos se originan las flores, cuando las condiciones climáticas son óptimas. Reportes de Santistevan (2013), revelaron que el número de nudos en producción fue un aspecto que también varió entre cultivares, por lo que la sustitución de las variedades tradicionales por nuevos híbridos, constituye una alternativa favorable para el incremento de la producción. Por su parte Jaramillo y Valencia (1980), mencionaron que los nudos producidos en las ramas de café, es algo que sucede unos meses antes que la floración, por tanto, los factores que influyen en el crecimiento vegetativo, se relacionan indirectamente con el número de botones florales, lo cual está relacionado también, con la sanidad del cultivo, la nutrición y la estimulación floral. Por lo que, el empleo de productos de origen biológico, mejoran la productividad de la planta como consecuencia de las propiedades novedosas o emergentes de los complejos bioquímicos que los constituyen.

Número de frutos cuajados entre 6 y 10 nudos

En el número de frutos cuajados entre 6 y 10 nudos, los tratamientos con 2 y 3 aplicaciones con valores de 93 y 75 frutos no obtuvieron diferencias estadísticas entre ellos, pero sí con el Testigo sin tratar que logró valores inferiores a 39 frutos cuajados (Gráfico 2).

Tales resultados concuerdan con los obtenidos por Unigarro *et al.* (2019), en otras investigaciones, con el empleo de algunos productos para estimular la floración y la producción de café en Colombia. En este caso el ácido giberélico (GA_3) y/o nitrato de potasio (KNO_3) durante el cuajado floral, repercutieron significativamente en la cantidad de frutos cuajados y en la distribución de la floración respecto al testigo.

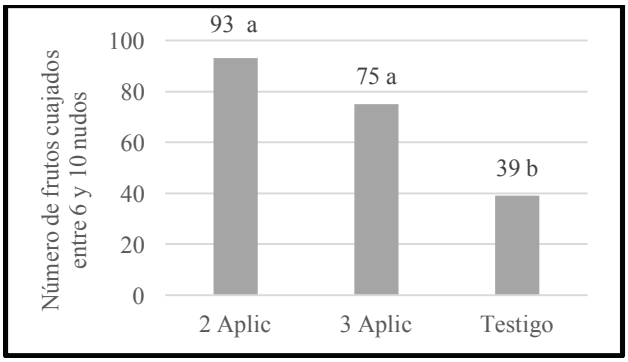

Gráfico 2. Promedio del número de granos cuajados entre (6 y 10 nudos) en el cultivo del café con la aplicación del Bioestimulante en Alajuela, Costa Rica.

Promedios con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p< 0,05).

Sobre la incorporación de bioestimulantes, Martínez *et al.* (2015), afirmaron que es una alternativa para la sobrevivencia del cultivo del café, ya que favorecen la actividad biológica, el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con las plantas y el crecimiento vegetal, de tal forma que los rendimientos se incrementen. Al respecto Plaza *et al.* (2015), señalaron que algunos compuestos influyen en el comportamiento agronómico y productivo de las plantaciones de *Coffea*, generando un mayor crecimiento y producción de granos cuajados en la planta. Resultados positivos se han obtenido en varios cultivos al aplicar el extracto de algas, como estimulador de los procesos fisiológicos que intervienen durante el cuajado de los frutos, respuestas obtenidas en cítricos, olivo, frutos rojos, hortalizas de frutos, cereales, frutos tropicales (BIOIBÉRICA, 2019), alcanzando efectos alentadores en la floración, producción y cuajado.

Número de frutos cuajados entre 11 y 15 nudos

Entre el 11 y 15 nudos, se marcó una tendencia al descenso en el cuajado de los frutos (Gráfico 3). Al aplicar el producto en este rango, no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, pero sí de estos con el Testigo, el cual obtuvo los menores valores promedios con 27 granos cuajados.

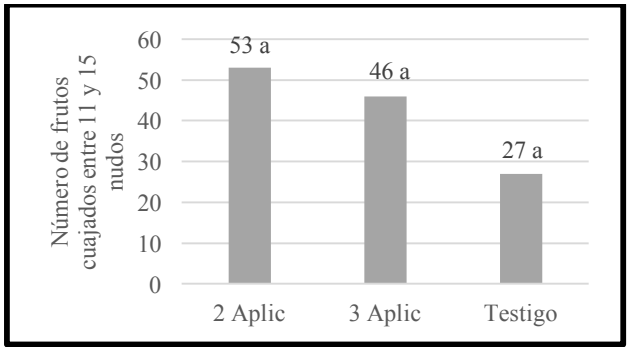

Gráfico 3. Promedio del número de frutos cuajados entre (11 y 15 nudos) en el cultivo del café con la aplicación del Bioestimulante en Alajuela, Costa Rica.

Promedios con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p< 0.05).

Diversos informes de Hernández *et al.* (2010), han explicado la generación de sustancias con efecto regulador del crecimiento, por algunas bacterias y microorganismos, con resultado sobre diferentes procesos asociados al desarrollo y crecimiento de las plantas, así como en floración y fructificación.

Número de frutos cuajados entre 16 y 20 nudos y > 20 nudos

Entre 16 y 20 y más de 20 nudos, el número de frutos cuajados se mantuvo con tendencia a la disminución. No encontrándose diferencias estadísticas cuando se aplicó el bioestimulante en dos o tres aplicaciones al cultivo, pero sí de estos con el Testigo sin aplicación, quien continúo manifestando los menores valores en cada evaluación y rango (Gráfico 4).

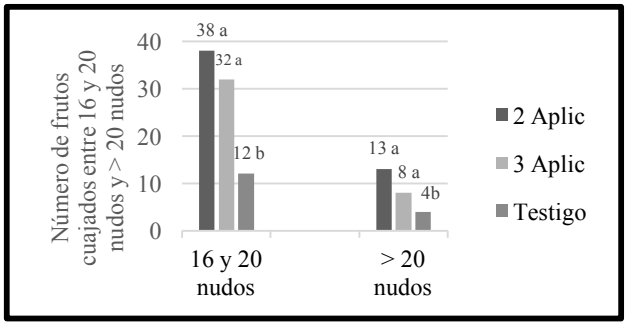

Gráfico 4. Promedio del número de frutos cuajados entre 16 y 20 nudos y > 20 nudos en el cultivo del café con la aplicación del Bioestimulante en Alajuela, Costa Rica.

Promedios con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p< 0,05).

Después de 20 nudos comenzó a disminuir de forma notable el promedio de frutos cuajados.

En la agricultura el uso de inductores ha logrado incrementar la floración y por ende, la producción de frutos. No obstante, en café esta alternativa ha sido poco explorada (Unigarro *et al.*, 2019). Por lo que Browning (1973) sugirió el aumento endógeno del contenido de GA_3 como el estímulo que necesitan las yemas florales para romper la dormancia y superar parcialmente la necesidad de un período seco de magnitud moderada y un mayor cuajado del grano.

De acuerdo con Unigarro *et al*. (2019), cuando se presentan múltiples eventos de lluvia durante la temporada de floración en café, el desarrollo de las yemas florales no se sincroniza, incrementando el número de eventos florales, lo cual puede hacer menos efectiva la acción de los bioestimulantes. Por lo que hay que tener en cuenta el efecto negativo de las precipitaciones y definir el momento oportuno para la aplicación de estos.

Nos encaminamos hacia un modelo que contempla el paso de la fertilización tradicional o convencional, mediante el uso de abonos procedentes de energía fósil a la utilización cada vez más de recursos naturales y biológicos (*extractos de plantas, ácidos húmicos, algas, bacterias, aminoácidos y hongos beneficiosos)*, los llamados bioestimulantes, los cuales aportan sustancias activas que provocan la mejora de la fisiología**,** una mayor protección y desarrollo de la planta y una mejora de la calidad de los frutos, por una fertilización más natural (Martínez, 2018).

Nudos productivos para el próximo ciclo

El mayor número de nudos productivos para el próximo ciclo, se logró al aplicar el producto en dosis de 3 $L.h^{-1}$ en los tratamientos con dos y tres aplicaciones foliares sobre el cultivo, sin diferencias estadísticas entre ellos, pero si con el Testigo sin aplicación quien obtuvo valores por debajo de 400 nudos para el siguiente ciclo productivo (Gráfico 5).

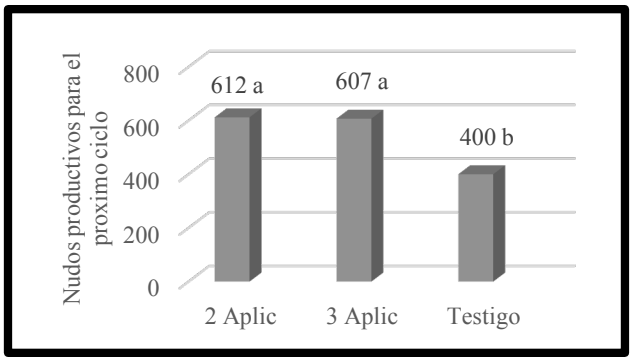

Gráfico 5. Nudos productivos para el próximo ciclo en el cultivo del café con la aplicación del Bioestimulante en Alajuela, Costa Rica.

Promedios con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p< 0,05).

La aplicación del bioestimulante, ofreció un mayor crecimiento de las bandolas, la misma que está directamente relacionado con este indicador, pues lógicamente al darse mayor crecimiento plagiotrópico de las mismas, mayor es el número de nudos productivos formados (Canales, 2017).

Según Ramírez (1996), los nudos productivos varían cada año hacia el extremo de las bandolas (crecimiento plagiotrópico) y en sentido vertical del tallo (crecimiento ortotrópico), donde también se acumulan números de nudos improductivos y defoliados de la cosecha anterior. En el cultivo del café, varios investigadores han reportado bioestimulantes sobre la germinación de la semilla, sobre el desarrollo de posturas de cafeto y su repercusión en la plantación futura (Díaz y Márquez, 2011; Adriano *et al*., 2011; Valverde *et al*., 2020). Sin embargo, el empleo de estos compuestos en la estimulación floral y fructificación del cafeto no habían sido estudiados hasta el momento. Según investigaciones realizadas por Coa *et al*. (2015) la ocurrencia de la antesis en el café, no es absoluta por lo que algunos botones florales se mantienen latentes durante tiempos variables en espera de condiciones que estimulen el paso hacia la apertura floral, lo que el empleo de los bioestimulantes en esta fase contribuyen de manera más efectiva a la estimulación y cuajado del grano, reduciendo además los efectos negativos del estrés asociado a la nutrición, las relaciones con el agua, la estructura del suelo y el cambio climático (González *et al*., 2015).

Calidad del grano y rendimiento/ha

En los resultados obtenidos en la estimación de la calidad del grano se pudo observar que el mayor peso del fruto cereza se alcanzó con tres aplicaciones, con valores de 1,93 g que se diferenció estadísticamente respecto a dos aplicaciones, con pesos promedios de frutos cereza de 1,87 g; sin embargo, estos no difirieron respecto al testigo, lo que indica que no hubo respuesta de la planta en cuanto a esta variable, al aplicar el extracto (Cuadro 2).

En el número de botones florales, la producción de café cereza y en el crecimiento vegetativo, Unigarro *et al.* (2019), no obtuvieron resultados positivos al aplicar GA_3 y/o nitrato de potasio (KNO_3), al igual que Sosa y Salamanca (2011), al evaluar varios fertilizantes foliares en la producción de café. Contrario a estos investigadores, en este trabajo fueron observados resultados discretos con este extracto de alga, el cual logró mayor peso de los frutos cereza con 3 aplicaciones, dado quizás por el amarre del grano en el momento oportuno.

Cuadro 2. Calidad del grano y rendimiento por hectárea en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) con la aplicación del Bioestimulante en Alajuela, Costa Rica. *Promedios con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p< 0,05).*

Tratamiento	Peso de frutos cereza (g)	Densidad de frutos cereza (cc)	No. de frutos vanos	Grados BRIX	Frutos cerezas/litro	Rendimiento Kg. ha^{-1}
2 aplicaciones	1,87 b	3,02 a	5,10 a	16,50 a	330 a	3793 a
3 aplicaciones	1,93 a	3,07 a	4,80 a	15,45 a	316 b	3719 a
Testigo	1,91 ab	3,20 a	4,90 a	15,50 a	312 b	2177 b

En lo referente a las variables densidad de frutos cereza (cc), número de frutos vanos (sin semilla), y grados BRIX, estas no se vieron influenciadas significativamente por la aplicación del producto.

La variable, frutos cerezas por litro obtuvo diferencias, solo cuando se realizaron dos aplicaciones, lo que indica que no hubo una respuesta positiva con el aumento de las aplicaciones o sin aplicar.

En cuanto al rendimiento por hectárea (kg), los mejores resultados fueron obtenidos al realizar dos y tres aplicaciones foliares sobre el cultivo, sin diferencias estadísticas entre ellos, pero sí con el testigo sin tratar. Destacándose que éste último produjo entre 57,5-58,5 % menos de rendimiento que los tratados con el bioestimulante. Hasta la fecha, algunos productos aplicados en café tales como: Starlite, Humega, Micorriza y Evergreen, en comparación con la Urea (Valverde *et al.,* 2020), mostraron una respuesta fisiológica significativa de la planta, como compuestos biogénicos, potenciadores o reguladores del crecimiento, en la formación de ramas y activación de clorofila. Evidenciándose que el nuevo producto a base de extractos de algas, representa una alternativa oportuna a considerar en la caficultura costarricense.

CONCLUSIONES

El empleo del nuevo bioestimulante a base del extracto de algas con dos y tres aplicaciones foliares sobre el cultivo del café, mostró resultados positivos en las fases de diferenciación, estimulación y cuajado del grano, representando una alternativa ecológica viable con influencia favorable en la floración y maduración, que puede llegar a incrementar hasta en 74% los rendimientos del cultivo.

LITERATURA CITADA

Adriano, A.M., Jarquín Gálvez J., Hernández R. R., Figueroa C., Salvador M. y Vargas M. C. T. 2011. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3):417-431.

Arcila, J., F. Farfán, A. Moreno, L. Salazar y E. Hincapié. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. 309 p. Primera Ed. CENICAFÉ, Chinchiná, Colombia. https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/1/Sistemas%20producci%C3%B3n%20caf%C3%A9%20Colombia.pdf

Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U. y Wicke, H. 2002. Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea spp.*). *Annals of Applied Biology*, 141, 19-27.

Bernier, G. 1988. The control of floral evocation y morphogenesis. Annual Review of Plant Physiology and *Plant Molecular Biology*, 39, 175-219.

BIOIBÉRICA. 2019. "*Equilibrium*". Hoja de seguridad Plant Health Division. (Barcelona)-SPAIN. 10 pp. https://www.planthealth.es/images/estresVegetal/productos/hojasSeguridad/MSDS_Equilibrium_ES.pdf

Browning, G. 1973. Flower bud dormancy in *Coffea arabica* L. I. Studies of gibberellin in flower buds and xylem sap and of abscisic acid in flower buds in relation to dormancy release. Journal of Horticultural Science, 48:29-41.

Bunn, C., Läderach, P., Rivera, O. O. y Kirschke, D. 2015. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. Climatic Change, 129(1):89-101.

Canales, H. A. D. 2017. Efecto del riego en crecimiento y rendimiento del café (*Coffea arabica* L.) CATRENIC, Nicaragua. Revista Ingeniería Agrícola, 6(4):17-22.

Cargua, Ch. J., Orellana C. G. L., Cuenca T. A.C., Cedeño G. G.A. 2019. Eficacia de bioestimulantes sobre el crecimiento inicial de plantas de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Espamciencia. 10 (1):14-22.

Coa, M., Silva-Acuña, R., Méndez Natera, J. R. y Mundarain Padilla, S. 2015. Fenología de la floración del cafeto var. Catuaí Rojo en el municipio Caripe del estado Monagas, Venezuela. Idesia (Arica), *33*(1):59-67.

Chia, E. L., Kankeu, S. R. y Hubert, D. 2019. Climate change commitments and agriculture sectoral strategies in Cameroon: Interplay and perspectives. Cogent Environmental Science, 5(1):1625740.

Díaz, B.P.O y Márquez R.E. 2011. Validación de los biofertilizantes *Azotobacter, rhizobium y fosforina* en cuatro sistemas de cultivos en condiciones de producción. Revista Avances.13 (2):1-9.

Díaz, A., Suárez Pérez, C., Díaz Milanés, D., López Pérez, Y., Morera Barreto, Y. y López, J. 2016. Influencia del bioestimulante FitoMas-E sobre la producción de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L.). Centro Agrícola, 43(4): 29-35.

Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae, 196:3-14.

González, V. M. E., Rosales J. P., Castilla V.Y., Lacerra E.J. Á. y Ferrer V.M. 2015. Efecto del Bioenraiz® como estimulante de la germinación y el desarrollo de plántulas de cafeto (*Coffea arabica* L.). Cultivos Tropicales, 36 (1):73-79.

Hernández, R.A., Heydrich P.M., Diallo, B., Mondher E.J. y Vandeputte O.M. 2010. Cell-free culture medium of *Burkholderia cepacia* improves seed germination and seedling growth in maize (*Zea mays*) and rice (*Oryza sativa*). Plant Growth Regulation, 60 (3):191-197.

Jaramillo, R. A. y Valencia, A. G. 1980. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L., en Chinchina, Colombia. Cenicafé. 31(4):127-144.

Matamoros, Q.A., Mesén S. F. y Jiménez A.L. 2020. Efecto de fitohormonas y fertilizantes sobre el enraizamiento y crecimiento de mini-estaquillas de híbridos F1 de café (*Coffea arabica*). Revista De Ciencias Ambientales. 54(1):58-75.

Martínez, V. 2018. Bioestimulantes, los fertilizantes del futuro. Rev. Agro el Economista. No. 30. p. 31.

Martínez, R. E.; López, G. M.; Ormeño, O. E. y Moles, A. C. 2015. Manual teórico práctico. Los biofertilizantes y su uso en la agricultura. Ed. Prado. SAGARPA-COFUPRO-UNAM. 50 p. https://es.scribd.com/document/257227036/Manual-Teorico-practico-Biofertilizantes

Moisés, M. L.; Yonger, T. A. and Barraza, F. V. 2015. Ecological and economical alternative for *Coffea*

arabica L. seedling obtainment. Cienc. Agríc. 32(1):65-74.

OIC (Organización Internacional del Café). 2014. Comercio mundial del café (1963-2013) reseña de los mercados, retos y oportunidades con que se enfrenta el sector. Vol. ICC 111-115. Rev.-1. London. http://www.ico.org/documents/cy2013-14/icc-111-5-r1c-world-coffee-outlook.pdf

Oosthuyse, S.A. 2015. Spray application of kno3, low biuret urea, and growth regulators and hormones during and after flowering on fruit retention, fruit size and yield of mango. Acta Horticulturae, 1075:135-141.

Paiva, P. 2000. Economic and social development in Latin America: The role of coffee. Presented at: World Coffee Conference. May 18. Hilton Park Lane, GBR. http://www.ico.org/event_pdfs/paiva.pdf .

Plaza, L. F.; Loor, R. G.; Guerrero, H. E. y Duicela, L. A. 2015. Caracterización fenotípica del germoplasma de *Coffea canephora* Pierre, base para su mejoramiento en Ecuador. Revista ESPAMCIENCIA. 6(1):7-13.

Ramírez, R., J. E. 1996. Estudio de sistemas de poda de café por hileras y por lotes. Agronomía Costarricense, 20 (2):167-172.

Ramaiah, P.K. y Venkataramanan, D. 1988. Studies on the effect of gibberellic acid on arabica coffee in India. Journal of Coffee Research, 18(1):47-51.

Reddy, S.E. y Majmudar, A.M. 1985. Tracking phosphorus patterns in mango (*Mangifera indica* L.) and possible relations to floral induction. Fertilizer Research, 6:s225-234.

Sosa, O. y Salamanca J., A. 2011. Evaluación de fertilizantes foliares sobre la producción en café (*Coffea arabica* L.). Ciencia y Agricultura, 6 (2):19-26. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/321

Santistevan, E. 2013. Caracterización fenotípica de 33 clones de café Robusta (*Coffea canephora*) en la comunidad Río Verde, Catón Santa Elena. 86 p. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador. http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2243

SAS. 1996. Statistical analysis system: user´s guide. SAS Institute, Cary, North Caroline, USA. 956 pp. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/stat_ug_7313.pdf

Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Haggar, J., Eakin, H. y Eitzinger, A. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. Mitigation and adaptation strategies for global change, 14 (7), 605-625. doi:10.1007/s11027-009-9186-5.

SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2015. Boletín estadístico agropecuario N° 25. Serie Cronológica 2011-2014. InfoAgro, San José, CRC. http://www.infoagro.go.cr/BEA/BEA25/descargas/BEA25.pdf .

Unigarro, M., C.A.; Díaz B., L. M.; Trejos P., J. F. 2019. Efecto de dos inductores florales sobre la floración y producción de café. Revista Cenicafé, 70(2):19-29.

Valverde, Y., Moreno-Quinto, J., Quijije-Quiroz, K., Castro-Landín, A., Merchán-García, W. y Gabriel-Ortega, J. 2020. Los bioestimulantes: Una innovación en la agricultura para el cultivo del café (*Coffea arábiga* L.). Journal of the Selva Andina Research Society, 11(1):18-28.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

EFECTO DEL PROCESAMIENTO DE CACAO EN EL CONTENIDO Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE COMPUESTOS FENÓLICOS

EFFECT OF COCOA PROCESSING ON THE CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PHENOLIC COMPOUNDS

Stalin Gustavo Santacruz Terán, Wellington Alex Mantuano Morán

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, vía a San Mateo s/n, Manta, Ecuador

Email: stalin.santacruz@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo científico

Recibido:
18/09/2020

Aceptado:
28/05/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista:
*ESPAMCIE*NCIA
12(1):41-45

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.221

Resumen

El chocolate es un producto que tiene gran aceptación entre los consumidores. Se conoce que los compuestos fenólicos presentes en frutas y vegetales aportan beneficios a la salud, sin embargo, estos pueden ser afectados por agentes como la temperatura y el oxígeno. En el presente trabajo se investigó el efecto del procesamiento de cacao en el contenido y la actividad antioxidante de compuestos fenólicos. Se tomaron muestras de cinco etapas del proceso de una planta productora local de chocolate: semilla en baba, semilla seca, nibs de cacao, licor de cacao y chocolate. Las muestras fueron sometidas a un proceso de extracción alcohólica para la obtención de los compuestos fenólicos. Posteriormente, mediante los métodos de Folin-Ciocalteu y del radical ABTS•+ se cuantificó respectivamente el contenido de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante. Los resultados mostraron variación en el contenido de compuestos fenólicos a lo largo del proceso. Las semillas en baba presentaron el menor contenido y el chocolate el mayor contenido de compuestos fenólicos. Con respecto a la actividad antioxidante esta fue menor para el chocolate conjuntamente con el licor y los nibs, mientras que fue mayor para las semillas en baba.

Palabras claves: Cacao, chocolate, nibs de cacao, semilla en baba, ABTS•+, Folin-Ciocalteu

Abstract

Chocolate is a product that has great acceptance among consumers. The presented henolic compounds in fruits and vegetables are known to provide health benefits, however, these can be affected by agents such as temperature and oxygen. In the present work, the effect of cocoa processing on the content and antioxidant activity of phenolic compounds was investigated. Five process stages were sampled from a local chocolate producing plant: slime seed, dried seed, cocoa nibs, cocoa liquor, and chocolate. The samples were subjected to an alcoholic extraction process to obtain phenolic compounds. Subsequently, using the Folin-Ciocalteu and ABTS • + radical methods, the content of phenolic compounds and their antioxidant activity were quantified, respectively. The results showed variation in the content of phenolic compounds throughout the process. The slime seeds had the lowest content and the chocolate the highest content of phenolic compounds. Regarding antioxidant activity, this was lower for chocolate together with liquor and nibs, while it was higher for slime seeds.

Keywords: Cacao, chocolate, cacao nibs, slime bean, ABTS • +, Folin-Ciocalteu.

INTRODUCCIÓN

El chocolate es un producto ampliamente consumido a nivel mundial, siendo el consumo anual por persona en los países europeos de alrededor de 8 kg, mientras que en el Ecuador es de solo 300 g (El Telégrafo, 2019).

El cacao (*Theobroma cacao* L.), materia prima para la elaboración del chocolate, es uno de los principales productos agrícolas de Ecuador (MAG, 2021) y su cultivo se realiza por parte de pequeños y medianos productores. Este cultivo constituye una alternativa económica y sostenible para la explotación agrícola ecuatoriana.

Durante los últimos años el cacao y el chocolate han sido objeto de investigaciones por su relativo alto contenido de compuestos fenólicos, siendo este entre el 12 y 18% de la masa seca de la semilla (Quiñones *et al*., 2013).

Los compuestos fenólicos son un amplio grupo de sustancias químicas que se encuentran presentes en frutas y vegetales desempeñando diferentes actividades metabólicas. La Organización Mundial de la Salud recomienda incorporar el consumo regular de frutas y vegetales, ricos en compuestos fenólicos, para reducir el riesgo de algunas enfermedades no transmisibles, como las cardiopatías y determinados tipos de cáncer (Corti *et al*., 2009).

Un chocolate con alto contenido de antioxidantes naturales procede de una semilla de calidad. Son diversos los factores que influyen en la composición y desarrollo de los compuestos fenólicos, entre ellos están el suelo, el clima, la radiación solar, la temperatura y las condiciones de su procesamiento luego de la cosecha (Natsume *et al*., 2014).

El chocolate con alto contenido de cacao debería ser rico en polifenoles (Ibric y Cavar., 2017). Se sabe sin embargo que los polifenoles se degradan con el procesamiento (Perea-Villamil *et al*., 2009), por lo que un chocolate con alto contenido de cacao no garantiza un elevado contenido de polifenoles. Un adecuado conocimiento del efecto de cada etapa de procesamiento del cacao sobre el contenido de los compuestos fenólicos, podría permitir hacer cambios en el procesamiento dirigidos a conservar los compuestos fenólicos, así como su actividad antioxidante.

Con base en lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del procesamiento de cacao, en la elaboración de chocolate, sobre el contenido de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de chocolate fueron tomadas de la empresa Fortaleza del Valle, Calceta, Manabí. Se tomaron muestras de cinco etapas del proceso: semillas en baba, semillas previamente sometidas a fermentación y secado, nibs de cacao luego del tostado, licor de cacao y finalmente el chocolate negro. Las semillas en baba se secaron previamente durante 24 h a 40°C en una estufa y fueron molidas, así como las otras muestras sólidas, hasta un tamaño de partícula aproximado a 170 µm.

Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos

La extracción se llevó a cabo de acuerdo con el método propuesto por Santacruz *et al*. (2020). Cinco gramos de muestra se disolvieron en 50 ml de etanol (95% v/v) y se mantuvieron en agitación, sin presencia de luz, durante 24 h a 20 °C y 130 r.p.m. Pasadas las 24 h, la muestra se centrifugó (centrífuga SIGMA 2-16P, Alemania) por 10 min a 1792 x g, y el sobrenadante se filtró al vacío. El líquido extraído (10 mL) se mezcló con 5 mL de etanol (95% v/v) y agua destilada para obtener un volumen total de 100 mL de solución madre. 0.1 mL de la solución madre se mezclaron con 0.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu y la mezcla se dejó en reposo durante 5 minutos. Posteriormente, se añadió 1 mL de una solución de carbonato de sodio al 5% y se aforó a 25 mL con agua destilada. La solución resultante se dejó en reposo en la oscuridad durante 1 h previo a la medida de su absorbancia a 760 nm (espectrofotómetro JENWAY 6320D, CHINA). La cuantificación de los compuestos fenólicos totales se realizó usando una curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar (2 g de ácido gálico en 100 mL de agua destilada). Todos los tratamientos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en mg de GAE (equivalente de ácido gálico)/g muestra. 10 mL de la solución de ácido gálico se mezclaron con 5 mL de etanol y se aforó a 100 mL con agua destilada (solución madre). El proceso continúa como el descrito anteriormente de tal forma que las soluciones sometidas a lecturas espectrofotométricas tengan concentraciones de 0; 0,005; 0,01 y 0,02 mg GAE/mL.

Determinación de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos presentes en las muestras se midió por medio del ensayo TEAC (por sus siglas en inglés: Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) modificado, usando la decoloración por el radical catión ABTS (Santacruz *et al*., 2020). El radical ABTS●+ se prepara mediante la reacción acuosa de persulfato de potasio 2,45 mM y ABTS 7 mM. Se diluyen 0,0360234 g de ABTS en 10 mL de agua destilada y 0,06622889 g de persulfato de potasio en 100 mL, se mezclan en partes iguales y se dejan reposar en la oscuridad por 16 h a 20°C. La solución de ABTS●+ obtenida es estable durante dos días y se diluirá con etanol (95%) hasta obtener una absorbancia de 0,70 (± 0,1) a 734 nm a 30 °C.

La curva de calibración se realiza con la preparación de soluciones de Trolox de diferente concentración. Para la solución madre se diluyen 0,01 g de Trolox en 5 mL de metanol y 5 mL de agua destilada. Se coloca en la celda del espectrofotómetro 2 mL de la solución de radical ABTS●+, y se registran las absorbancias iniciales, luego se añade 20 μL de tres concentraciones (20 uM, 40 uM, y 60 uM) de soluciones del estándar Trolox, y se toman las absorbancias a 734 nm. Para la evaluación de la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos de la muestra se remplaza los 20 μL de la solución de Trolox por el extracto de cada tratamiento. La absorbancia será leída a los 6 min de haber incorporado los 20 μL de extracto. Utilizando la curva de calibración se obtienen las actividades

antioxidantes de la muestra expresadas en mg Trolox/g muestra.

Análisis estadísticos

Para el análisis de resultados se utilizó el paquete estadístico Infostat (versión 2017). Se hizo uso de un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados (Cuadro 1) muestran que existió diferencia estadística significativa en el contenido de compuestos fenólicos de las muestras tomadas de las cinco etapas del procesamiento. El chocolate negro tuvo el mayor contenido (112,39 mg GAE/g muestra seca), este resultado es superior a los encontrados por Genovese y Lannes (2009) para polvo de cacao (36,47 mg GAE/g) y polvo de chocolate (33,22 mg GAE/g). Las diferencias pueden deberse a factores genéticos, del medio ambiente o diferente metodología de cuantificación.

Cuadro 1. Contenido de compuestos fenólicos de muestras a lo largo del procesamiento de cacao a chocolate negro

Muestra	Contenido de compuestos fenólicos (mg GAE/g muestra b.s.)
Semilla en baba	$52,88^{A}$
Licor de cacao	$79,81^{B}$
Semilla seca y fermentada	$83,99^{B, C}$
Nibs de cacao	$94,66^{C}$
Chocolate	$112,39^{D}$

Valores con una letra superíndice igual no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Por otro lado, la semilla en baba reportó el menor contenido de compuestos fenólicos (52,88 mg GAE/g muestra seca). Los nibs de cacao, resultantes de un proceso de tostado, tuvieron un contenido de compuestos fenólicos de 94,66, superior al de semilla en baba, 52,88 mg GAE/g muestra seca. Zapata *et al*. (2015) encontraron el mismo efecto del tostado sobre semillas de cacao. Los granos de cacao crudos sometidos al proceso de tostado mostraron contenidos de compuestos fenólicos que variaron en un intervalo de 21,69 – 38,64 mg/g en granos sin tratar, y 20,60 – 42,79 mg/g en granos tostados. Este efecto se atribuye a los tratamientos térmicos que producen compuestos derivados de las reacciones de Maillard entre azúcares reductores y aminoácidos. Estudios han demostrado que estas reacciones generan una variedad de productos, intermediarios y pigmentos marrones (melanoidinas); los cuales pueden ser detectados por el método de Folin-Ciocalteu, dando como resultado una sobreestimación del contenido de compuestos fenólicos (Summa *et al*., 2006; Oliviero *et al*., 2009). De acuerdo a Fabani et al. (2017) y Peinado *et al*. (2013) el contenido de compuestos fenólicos incrementa con el proceso de secado, principalmente debido al efecto de concentración, pero además como consecuencia de la hidrólisis de compuestos fenólicos polimerizados.

El cuadro 2 muestra que la actividad antioxidante disminuyó a lo largo del proceso de 35,34 a 1,19 mg Trolox/g muestra seca, siendo la semilla en baba la que presentó la mayor actividad antioxidante de las cinco etapas del proceso analizadas. Al parecer el tratamiento térmico y alcalino influyó en la disminución de la actividad antioxidante. Esta disminución también se reporta por Cadena y Herrera (2008), donde la capacidad antioxidante de los granos de cacao disminuyó de 350 mmol Trolox/g muestra a 129 mmol Trolox/g muestra. Pérdidas de la actividad antioxidante en el proceso de tostado han sido reportadas por otros autores con valores entre 32,6% y 54,7% (Arlorio *et al*., 2007), 23% (Perea-Villamil *et al*., 2009). La disminución de la actividad antioxidante se puede atribuir al efecto de la temperatura y a la posible formación de otros compuestos en la reacción de Maillard de menor actividad antioxidante. Resultados aparentemente contradictorios se han encontrado por otros autores donde el tratamiento térmico de tostado dio como resultado un incremento de la actividad antioxidante (Suazo, 2012; Coaquira, 2018). El efecto del proceso de tostado sobre los clones de cacao no tuvo un comportamiento definido, se observan cambios positivos como negativos en la actividad antioxidante de los granos de cacao dependiendo de la variedad (Zapata *et al*., 2015).

La actividad antioxidante de la semilla en baba es superior a la del vino tinto (Lee *et al*., 2003; Samoticha *et al*., 2017), lo que permite considerar al cacao como buena fuente de antioxidantes. Sin embargo de que el chocolate negro posee una menor actividad antioxidante a la de la semilla sin tratar, esta es comparable a la de frutos como el tomate (1,1 mg Trolox/g b.s.) (Vasco *et al*., 2008) y maracuyá (2,1 mg Trolox/g b.s.) (Molina-Hernández *et al*., 2019). Este resultado es de valiosa importancia ya que permite considerar al chocolate como una alternativa más saludable que los productos de confitería.

Cuadro 2. Actividad antioxidante de compuestos fenólicos de muestras a lo largo del procesamiento de cacao a chocolate negro

Muestra	Actividad antioxidante (mg Trolox/g cacao b.s.)
Nibs de cacao	$1,19^{A}$
Licor de cacao	$1,19^{A}$
Chocolate	$1,19^{A}$
Semilla seca y fermentada	$7,59^{A}$
Semilla en baba	$35,34^{B}$

Valores con una letra superíndice igual no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

CONCLUSIONES

El proceso para la obtención del chocolate negro produce un aparente incremento del contenido de compuestos fenólicos mediante la formación de compuestos que son detectados mediante la técnica Folin-Ciocalteu. La actividad antioxidante, disminuye por efecto del tratamiento térmico, sin embargo, el chocolate negro tiene actividades equivalentes a frutas como el tomate y maracuyá.

LITERATURA CITADA

Arlorio, M., Locatelli, M., Travaglia, F., Coisson, J., Grosso, E. and Appendino, G. 2007. Roasting impact on the contents of clovamide (N-caffeoyl-L-DOPA) and the Antioxidant Activity of cocoa beans. Food Chemistry 106: 967-975

Cadena, T. y Herrera, Y. 2008. Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de fenoles y su actividad antioxidante. Tesis. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Coaquira, J. 2018. Estudio de la cinética de degradación de la actividad antioxidante y fenoles en el tostado de cacao (Theobroma cacao L) variedad chuncho. Tesis. Universidad Peruana Unión. Lima.

Corti, R., Flammer, A., Hollenberg, N. and Luscher, T. 2009. Cocoa and Cardiovascular Health. Circulation 119:1433–1441

El Telégrafo. 2019. https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/consumol-chocolate-bajo-ecuador.

Fabani, M., Baroni, M., Luna, L., Lingua, M., Monferran, M., Paños, H., Tapia, A., Wunderlin, D. and Feresin G. 2017. Changes in the phenolic profile of Argentinean fresh grapes during production of sun-dried raisins. Journal of Food Composition and Analysis 58: 23-32

Genovese, M. and Lannes, S. 2009. Comparison of total phenolic content and antiradical capacity of powders and "chocolates" from cocoa and cupuassu. Ciência e Tecnologia de Alimentos 29: 810-814

Ibric, A and Cava S. 2017. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Cocoa and Chocolate Products. Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina 42: 37-40

Lee, K., Kim, Y., Lee, H. and Lee, C. 2003. Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than teas and red wine. Journal of Agriculture and Food Chemistry 51:7292-5

Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2021. Boletín Panorama Agroestadístico. http://sipa.agricultura.gob.ec

Molina-Hernández, J., Martínez-Correa, H. y Andrade-Mahecha, M. 2019. Potencial Agroindustrial del Epicarpio de Maracuyá como Ingrediente Alimenticio Activo. Información Tecnológica 30: 245-256

Natsume, M., Osakabe, N., Yamagishi, M., Takizawa, T., Nakamura, T., Miyatake, H., Hatano, T. and Yoshida, T. 2014. Analyses of Polyphenols in Cacao Liquor, Cocoa, and Chocolate by Normal-Phase and Reversed-Phase HPLC. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry 64: 2581-2587

Oliviero, T., Capuano, E., Cammerer, B. and Fogliano, V. 2009. Influence of roasting on the antioxidant activity and HMF formation of a cocoa bean model systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57: 147- 152.

Peinado, J., López de Lermac, N., Peralbo-Molina, A., Feliciano Priego-Capote, F., Castro, C. and McDonagh, B. 2013. Sunlight exposure increases the phenolic content in postharvested white grapes. An evaluation of their antioxidant activity in Saccharomyces cerevisiae. Journal of Functional Foods 5: 1566–1575.

Perea-Villamil, J., Cadena-Cala, T. y Herrera-Ardila, J. 2009. El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento. Revista de la Universidad Industrial de Santander 41: 128-134

Quiñones, J., Reinaldo, C., Capdesuñer, Y., Quirós, Y. y Hernández C. 2013. Potencial de actividad antioxidante de extractos fenólicos de Theobroma cacao L. (cacao). Revista Cubana de Plantas medicinales 18(2)

Samoticha, J., Wojdyło, A., Chmielewska, J. and Oszmianski J. 2017. The effects of flash release conditions on the phenolic compounds and antioxidant activity of Pinot noir red wine. Eur Food Res Technol 243: 999–1007

Santacruz, S., Cárdenas G y Mero V. 2020. Compuestos fenólicos y aceite de semillas de naranja y maracuyá. Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia 37: 51-68

Suazo, Y. 2012. Efecto de la fermentación y el tostado sobre la concentración polifenólica y actividad antioxidante de cacao Nicaragüense. Tesis. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.

Summa, C., Cordeiro Raposo, F., McCourt, J., Lo Scalzo, R., Wagner, K., Elmadfa, I. and Anklam, E. 2006. Effect of roasting on the radical scavenging activity of cocoa beans. Journal European Food Research and Technology 222: 368–375.

Vasco, C. 2009. Phenolic Compounds in Ecuadorian Fruits. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.

Zapata, S., Tamayo, A. y Rojano, B. 2015. Efecto del Tostado Sobre los Metabolitos Secundarios y la Actividad Antioxidante de Clones de Cacao Colombiano. Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín 68: 7497-7507

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

EFECTO DE INOCULACIÓN MICORRÍZICA ARBUSCULAR COMBINADA CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL PASTO SABOYA (*Megathyrsus maximus*)

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL INOCULATION COMBINED WITH NITROGEN FERTILIZATION ON SAVOY GRASS (*Megathyrsus maximus*)

Jimmy Ivan Zambrano Velasquez[1], Manuel de Jesús Peña[2], Hilder Enrique Vera Saldarriaga[1]

[1]Universidad Técnica de Manabí, Avenida Urbina y Che Guevara Km 2½ vía Chone-Boyacá
[2]Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ubicada en el km 2.7 vía Calceta-El Morro-El Limón

Email: jzambrano1657@utm.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo: Artículo original

Recibido: 03/02/2021

Aceptado: 15/06/2021

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA 12(1):46-55

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.239

Resumen

La presente investigación es una revisión bibliográfica que tiene por objetivo examinar el efecto de la inoculación micorrízica arbuscular combinada con la fertilización nitrogenada sobre el pasto Saboya (*Megathyrsus maximus*). Para sustentar teóricamente este estudio se analizaron 80 artículos obtenidos mediante Google Académico a través de fuentes primarias como investigaciones originales, tesis de grado, de maestría; y de fuentes secundarias extraídas de bases de datos como Dialnet, Redalyc y Scielo, asimismo para la búsqueda bibliográfica se determinó palabras clave pasto Saboya (*Megathyrsus maximus*), fertilización nitrogenada, inoculación micorrízica arbuscular y uso combinado de fertilización nitrogenada e inoculación micorrízica arbuscular. Se concluyó que la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares conjuntamente con la fertilización nitrogenada sobre el pasto Saboya constituye una opción válida para optimizar la absorción de minerales y nutrientes de este género mejorando su rendimiento y calidad, lo cual favorece el perfil alimentario del ganado en el cantón Chone y el país. Se evidenció que, en este sentido, el desafío más importante para el Ecuador es fomentar líneas investigativas dirigidas a implementar ambos métodos de fertilización para alcanzar elevados índices de productividad del pasto Saboya, tomando en cuenta factores como el tipo de suelo, la selección de cepas eficientes y el manejo de cantidades de fertilizante nitrogenado acordes a las necesidades reales del suelo.

Palabras clave: Inoculación micorrízica arbuscular, fertilización nitrogenada, rendimiento del pasto Saboya

Abstract

The present research is a bibliographic review that aims to examine the effect of arbuscular mycorrhizal inoculation combined with nitrogen fertilization on Savoy grass (*Megathyrsus maximus*). To theoretically support this study, 80 articles obtained through academic google with primary sources such as original research, graduate thesis, master's thesis; and from secondary sources extracted from databases such as Dialnet, Redalyc and Scielo, also for the bibliographic search Savoy grass (*Megathyrsus maximus*), nitrogen fertilization, arbuscular mycorrhizal inoculation and combined use of nitrogen fertilization and arbuscular mycorrhizal inoculation were determined as keywords. It was concluded that the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi together with nitrogen fertilization on Savoy grass constitutes a valid option to optimize the absorption of minerals and nutrients of this genus, improving their performance and quality, which favors the feeding profile of cattle in Chone canton and the country. It was evidenced that, in this sense, the most important challenge for Ecuador is to promote research lines aimed at implementing both fertilization methods to achieve high productivity rates of the Savoy grass, taking into account factors such as the type of soil, the selection of efficient strains and the management of nitrogen fertilizer amounts according to the real needs of the soil.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal inoculation, nitrogen fertilization, Savoy grass yield

INTRODUCCIÓN

En la actualidad constituye una preocupación del ámbito ganadero encontrar las vías más eficaces para incrementar la producción de pastos y forrajes, pues esto se traduce en aumento de la producción animal. Sin embargo, aún son insuficientes las investigaciones científicas para alcanzar los niveles de producción de pastos a que se aspira en la región Latinoamericana y especialmente en Ecuador.

De acuerdo a estudios investigativos desarrollados en la región entre las principales causas que afectan desfavorablemente la producción ganadera es la baja fertilidad de los suelos como consecuencia de la poca disponibilidad de nitrógeno, componente mineral con mayor impacto sobre la producción de pasto y forraje en los suelos tropicales (Santos *et al.*, 2002; Bernal, 2003).

El nitrógeno es considerado un nutriente de importancia gracias a que favorece el aumento del tamaño de la hoja en las plantas, el diámetro de las raíces, el desarrollo de nuevos brotes, la absorción de otros nutrientes, la digestibilidad, la producción de materia seca así como el incremento del contenido de proteína cruda en pastos y forrajes (Cabalceta, 1999; León, 2003; Castro *et al.,* 2009; González, 2015).

De acuerdo con el planteamiento anterior la aplicación de fertilización nitrogenada fortalece la producción ganadera al incrementar la oferta y calidad del pasto, por lo cual constituye una estrategia acertada siempre que se tome en cuenta las necesidades del suelo tratado (Cáceres *et al.*, 1989; Mendoza, 2002; Pérez, 2014; López, 2015).

No obstante, la fertilización a base de este componente mineral tiene una efectividad generalmente inferior al 50%, debido a las pérdidas del nitrógeno aplicado por lo cual ocurre un incremento de los costos ambientales, (Blaxter *et al.*, 1971; Reynolds, 1982; Peoples *et al.,* 1994; Whitehead, 1995; González, 2015).

Si bien la productividad de los pastos depende del nitrógeno para conseguir cosechas satisfactorias (Castro *et al.*, 2009), constituye una prioridad contar con mecanismos sustentables para fertilizar los suelos y preservar el medio ambiente.

En este sentido, la producción de pastos se ha orientado hacia la utilización de fuentes renovables donde el empleo del potencial de fijación biológica del nitrógeno cobra vital importancia para complementar o reemplazar la fertilización nitrogenada (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000; Bernal y Moralez, 2006; Cárdenas *et al.*, 2014; Pérez, 2014; Aguilar *et al.*, 2015).

Una de las alternativas de mayor aceptación para complementar la fertilización mineral es el manejo de la simbiosis micorrízica, pues contribuye a ampliar el área radicular de la planta posibilitando una mejor absorción de los nutrientes del suelo (Barrera, 2009; Cano, 2011; González *et al.*, 2015).

La inoculación de micorrizas favorece la productividad de los cultivos, la regeneración de comunidades vegetales degradadas el equilibrio del ecosistema y el desarrollo de sistemas agrícolas más eficientes (Riera y Medina, 2005; Cardona *et al.*, 2008; Guerra, 2008; Noda, 2009; Cárdenas *et al.*, 2014; Seguel, 2014; González *et al.*, 2015).

Dentro de la gama de micorrizas, los hongos micorrízicos arbusculares han tenido mayor aceptación en los sistemas ganaderos debido a que mediante sus interacciones con otros microorganismos del suelo a través de las raíces y la rizósfera, permiten aumentar la fijación del nitrógeno (Cuenca *et al.*, 2007; Castro, 2009; Pérez *et al.*, 2011).

Varios autores señalan entre los beneficios de la micorriza arbuscular su capacidad para estimular la absorción de fósforo y otros nutrientes, su efectividad para impulsar funciones como la remoción de toxinas, la solubilización de fosfatos orgánicos e inorgánicos, así como la mejora de la estructura del suelo, de la resistencia a las plagas y a la sequía (Maldonado, 2008; Jiménez, 2009; Montaño *et al.,* 2009; Parodi y Pezzani, 2011; Lozano *et al.,* 2015; Garzón, 2016; Ramirez *et al.,* 2017).

La inoculación de hongos arbusculares en los cultivos de pastos constituye una opción válida para disminuir la cantidad de fertilizantes utilizados, así como reducir el tiempo de entrada de animales a pastoreo y el tiempo de establecimiento de árboles para los sistemas silvopastoriles, lo cual permite un sistema de producción más rápido, limpio y eficiente (Blanco y Salas, 1997; Bolívar *et al.,* 2009; Molina *et al.*, 2005).

En este sentido, algunos estudios también aportan evidencias sobre la conveniencia del uso de micorrizas como método para elevar la productividad en las gramíneas, y como parte de estas, del pasto Saboya (*Megathyrsus maximus*) (Ramírez *et al.*, 2017).

Varios autores indican que el pasto Saboya, también conocido como guinea, chilena o cauca, es gramínea de origen africano que se adapta fácilmente a diversas condiciones climatológicas y se caracteriza por su resistencia al pisoteo del ganado durante el pastoreo, a la sequía extensa, por su alto valor nutritivo y su adecuado nivel de respuesta ante los diferentes sistemas de manejo (Álvarez et al 2016a; Álvarez et al 2016b; Cunalata, 2019; Morán, 2019; Ramírez *et al*, 2012; Verdecia *et al*, 2008).
En este sentido, una de las zonas cuyas extensiones de pastizales de aproximadamente 163 441,70 hectáreas poseen un alto predominio de pasto Saboya es el cantón Chone, siendo considerado el principal abastecedor de

ganado en Ecuador (Memoria Técnica Cantón Chone, 2013), datos que ratifican la importancia de fomentar su rendimiento y producción.

Sin embargo, se ha señalado que la falta de investigaciones para promover el incremento del rendimiento del pasto Saboya afecta considerablemente las posibilidades de expansión y los índices de productividad del mismo (Macías *et al.,* 2017).

Si bien el pasto Saboya asimila favorablemente la fertilización nitrogenada (Segura, 2007; França *et al.,* 2007; Mesquita y Neres, 2008; Vélez, 2009; Cerdas y Vallejos, 2011; Ceballos, 2019) los costos económicos y ambientales de su uso se pueden aminorar si se complementa con la inoculación micorrízica, lo cual resulta de gran interés teniendo en cuenta las grandes extensiones de cultivos de este género en el territorio ecuatoriano.

En la literatura se hallan estudios acerca del efecto de la inoculación micorrízica arbuscular conjuntamente con la fertilización nitrogenada sobre el pasto Saboya, en los cuales se ha demostrado el incremento del rendimiento y la calidad de este género (Calderón y González, 2007; Ramírez *et al.*, 2017; Rosales *et al.*, 2017a).

Sin embargo, en Ecuador este tipo de investigaciones aún son escasos, por lo que se carece de información acerca del efecto de ambos métodos de fertilización en el pasto Saboya, ello evidencia la necesidad de implementar estudios que avalen su efectividad dada la importancia de este tipo de pasto para la producción ganadera en el territorio.

Por tal motivo el presente trabajo de revisión tiene como objetivo examinar el efecto de la inoculación micorrízica arbuscular combinada con la fertilización nitrogenada sobre el pasto Saboya.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los artículos de revisión contribuyen a situar y sustentar teórica y conceptualmente los aportes científicos existentes gracias a la constante evolución en determinada temática de interés, permite localizar los resultados más relevantes actuales y pasados, sirve como guía metodológica para las investigaciones a la vez que permite identificar las limitaciones y carencias teóricas o metodológicas existentes respecto al tema abordado (Arnau y Sala, 2020; Guirao-Goris *et al.,* 2008).
Al ser el presente un estudio de revisión, en este apartado se describirán los métodos empleados para su redacción, tomando en cuenta aspectos como la estrategia de búsqueda de la literatura científica consultada, los criterios de selección, el período en que se realizó y las latitudes donde fueron realizadas dichas investigaciones.

A su vez, se consideró el número de estudios que sustentan teóricamente el presente trabajo, a partir de criterios de inclusión tales como la relevancia de su aporte al tema analizado y el período de tiempo en que estos fueron realizados.

La estrategia de búsqueda bibliográfica

El sustento teórico del presente artículo de revisión se obtuvo mediante Google Académico a través de fuentes primarias: investigaciones originales, tesis de grado, de maestría; y de fuentes secundarias extraídas de bases de datos como Dialnet, Redalyc y Scielo.

Para la búsqueda bibliográfica se determinaron a partir de las variables del tema de investigación las palabras clave, siendo seleccionadas pasto Saboya (*Megathyrsus maximus*), fertilización nitrogenada, inoculación micorrízica arbuscular y uso combinado de fertilización nitrogenada e inoculación micorrízica arbuscular.

La búsqueda se realizó durante el período septiembre 2020-abril 2021, se descargaron un total de 136 trabajos entre tesis y artículos científicos, de ellos se analizaron en profundidad y de manera crítica 80 de ellos por ser más afines con el problema de investigación.

Los estudios analizados son fundamentalmente de América Latina (Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba) y Estados Unidos, abarcan un período amplio, desde la década de los 90 hasta la actualidad y algunos clásicos que datan de años anteriores, los cuales se tomaron en cuenta por su aporte relevante para la presente investigación.

Criterios de selección de los artículos

Los criterios de selección se determinaron de acuerdo al objetivo del trabajo: examinar el efecto de la inoculación micorrízica arbuscular combinada con la fertilización nitrogenada sobre el pasto Saboya.

Para ello se tomaron en cuenta aspectos como título, los autores, el resumen, los resultados y las conclusiones, con el propósito de determinar si el trabajo aporta información útil sobre el tema investigado, la credibilidad y experticia de los autores examinados, el cumplimiento de criterios de calidad metodológica, el rigor científico de los artículos y tesis consultados, así como el nivel de aplicación de sus resultados obtenidos en el contexto objeto de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente apartado, se exponen los principales aportes de las investigaciones analizadas en relación con el pasto Saboya, sus características, los métodos de producción y su nivel de rendimiento.

Asimismo, se examinan los resultados más relevantes acerca de su productividad bajo condiciones de fertilización nitrogenada, fertilización por medio de la inoculación de micorrizas arbusculares y respecto al uso combinado de ambos métodos de fertilización.

Se presentan las consideraciones respecto a las potencialidades del uso combinado de ambos métodos de fertilización en los cultivos de pasto Saboya en Ecuador.

Producción, rendimiento y métodos de plantación del pasto Saboya

El pasto Saboya *Megathyrsus maximus*, anteriormente conocida como *Panicum maximum*, es una gramínea de que produce entre 10 y 30 toneladas de materia seca por hectárea en un año; entre un 10-14% de proteínas y una digestibilidad de 60 – 70% (Álvarez *et al.,* 2016b; Astudillo, 2014; Morán, 2019; Peñaherrera, 2015).

Varios autores plantean que esta especie puede adaptarse a condiciones extremas pues al ser una gramínea de mucha rusticidad soporta el pastoreo extensivo. Sin embargo, no mantiene un equilibrio de producción durante todo el año, tal desequilibrio está relacionado con el factor climático de mayor variabilidad en el trópico que es la precipitación (Álvarez *et al.*, 2016a; Vargas *et al.*, 2014).

Un estudio realizado en Ecuador propone dos métodos para la plantación y expansión del pasto Saboya: por medio de cariopsis o grano empleando 9 a 18kg/ha, y a través del material vegetativo, utilizando 12 a 15m3 de cepas por hectárea (Loayza, 2008).

El nitrógeno y su uso en la fertilización del pasto Saboya

Investigaciones realizadas en Colombia, señalan que el nitrógeno forma parte de las proteínas, clorofilas, alcaloides, enzimas de los pastos, los cuales son componentes responsables de regular el crecimiento y formación del material vegetal de dichas gramíneas (INPOFOS, 2003).

Varios estudios han constatado que especies *Megathyrsus máximum*, extraen 79,0 y 63,0 kg/ha/año de nitrógeno (Bernal, 2003; Verdecia *et al.*, 2008; Nuñez *et al.*, 2019).

También se ha comprobado que la fertilización nitrogenada contribuye al incremento del valor nutritivo producido por las gramíneas forrajeras (Moran, 2002; Pérez, 2014; González, 2015).

Otros estudios señalan que la incorporación de nitrógeno en las gramíneas forrajeras es del 60%, y el restante 40% se pierde ya sea por escurrimiento, lavado, desnitrificación, volatilización, inmovilización biológica u otros procesos ocurridos en el suelo, razón por la cual se recomienda que su aplicación mediante la fertilización sea en forma fraccionada para mayor eficiencia (León, 2003).

Por su parte, algunos investigadores señalan que la efectividad de la fertilización nitrogenada aumenta con la luz, la temperatura y la humedad del suelo, por lo cual recomiendan que la dosis total anual de fertilización de nitrógeno sea fraccionada mínimo 3 veces para obtener resultados eficientes, además proponen que su aplicación se realice durante épocas lluviosas o bajo riego, tomando en consideración el tipo de suelo, el período de corte y el nivel de pastoreo (Gutiérrez, 1996; Cabalceta, 1999).

Fertilización a base de micorrizas arbusculares

Varios estudiosos de las micorrizas señalan las metodologías empleadas para la fertilización con dichos hongos, entre las que destacan por su efectividad: el aislamiento de esporas a partir de suelo, la tinción diferencial de raíces para evidenciar la colonización, metodologías moleculares para la identificación y taxonomía así como la inoculación con esporas, raíces o suelo (Abbott, 1994; Corredor *et al.*, 2003; Aguilar *et al.*, 2015; Valencia y Zúñiga, 2015).

A su vez otro estudio indica que para una evaluación eficaz del aporte de las micorrizas en la fertilización resulta imprescindible realizar un muestreo representativo, en el cual la muestra debe tomarse de los diferentes puntos de muestreo seleccionados a una profundidad entre 0 y 20 cm en forma de X o W, para luego de ser homogeneizada y secada, extraer entre 10 y 100 gr para el posterior aislamiento y análisis de las esporas mediante el tamizaje y centrifugación en gradiente de sacarosa (Corredor *et al.*, 2003).

Igualmente, para el proceso de inoculación los investigadores recomiendan aplicaciones de entre 100 y 150 gr por árbol con una densidad de 50 esporas/g, para un promedio de 107 esporas por planta (Molina *et al.*, 2005).

Por otra parte, el nivel de efectividad de la micorriza aplicada se evalúa a partir de cuantificar la colonización del hongo micorrícico en las raíces y determinar las características del mismo utilizando un estereoscopio (40x) a través del método de intercepto de líneas cuadráticas de las raíces, luego de ser lavadas, acidificadas y tinturadas (Habte y Osorio, 2001; Valencia y Zúñiga, 2015).

Estudio realizado en Colombia señala que las investigaciones sobre el efecto de las micorrizas en especies forrajeras tropicales se han orientado principalmente a las

leguminosas, en menor proporción a las gramíneas, y entre estas últimas más a las de pastoreo que a las de corte (Barrera, 2015).

De la misma manera, trabajos que datan de la década de los noventa, señalan que las gramíneas responden a la inoculación con micorrizas en suelos con niveles de poca y mediana fertilidad (Evan y Miller 1990).

Algunos autores señalan que estudios realizados sobre la dependencia de micorrizas de diversas especies forrajeras tropicales, incluidas *B. decumbens*, *B. brizantha, B. humidicola* y *Panicum maximum* actualmente denominada *Megathyrsus maximus*, revelan que la dependencia micorrízica de estas especies es mayor cuando crecen en suelos de baja fertilidad (González, 2015; Núñez, 2018).

Por otra parte, Barrera señala que la institución Agrotecnia Ltda. de Colombia en investigaciones realizadas durante el período 1997-2000, demostraron que las aplicaciones de micorrizas que oscilaban entre 500 y 800 Kg/ha, generaron una mayor producción, un aumento en la absorción de nutrientes y una mayor tolerancia al ataque de plagas con respecto a aquellas donde no se aplicaron, a su vez detectaron que las mayores producciones de gramíneas se obtuvieron al aplicar mezclas de micorriza – materia orgánica y fertilizante químico obteniéndose producciones superiores en un 25% (Barrera, 2015).

Si bien existen numerosos trabajos acerca del uso de hongos micorrízicos arbusculares como biofertilizantes, aún falta profundizar el estudio sobre los efectos de la fertilización mineral en ellos, sin embargo se conoce que estos dependen de factores como el tipo de fertilizante, las características del suelo, de los cultivos y del agroecosistema así como del tipo de hongos micorrízicos arbusculares presentes en el suelo (Sieverding, 1991; Blanco y Salas, 1997; Louis y Lim, 1988; Usuga *et al.*, 2008).

En este sentido, investigadores norteamericanos en estudios que datan de los años 90, descubrieron que determinadas especies de micorrizas arbusculares varían en su respuesta a la fertilización y que altos niveles de nitrógeno y fósforo afectan negativamente el funcionamiento de la micorriza mientras que bajas fertilizaciones con potasio son benéficas (Kurle y Pfleger 1994; González *et al.,* 2015).

Igualmente, en un artículo de revisión varios investigadores puertorriqueños indican que la utilización de plaguicidas y fertilizantes sintéticos aumentan la cantidad de fósforo en el suelo y reduce el efecto positivo de las micorrizas, concluyendo que las probabilidades de disminución de los efectos negativos dependen del tipo y cantidades de fertilizante, así como de la especie de micorrizas empleada (Canchani *et al.*, 2018).

Lo que esulta vital considerar estos aspectos en el momento de selección de especies de micorrizas, para evitar que su efectividad sea afectada por su alta sensibilidad al tipo de fertilizante.

Uso combinado de inoculación micorrízica y fertilización nitrogenada sobre el pasto Saboya

Varios trabajos han demostrado que la inoculación de especies eficientes de HMA constituye una vía efectiva para disminuir las dosis de fertilizantes a aplicar a los pastos, sin reducir su rendimiento ni valor nutricional (Carneiro *et al.*, 2011; González, 2015; González *et al.*, 2015).

De acuerdo con un estudio desarrollado en Cuba se comprueba que determinados tipos de hongos micorrízicos (F. mosseae) poseen una mayor efectividad para colonizar las raíces del pasto respecto a los hongos micorrízicos arbusculares residentes; así mismo demostraron la necesidad de que conjuntamente con su inoculación se adicionen determinadas cantidades de nutrientes, procedentes de fuentes orgánicas o minerales, para alcanzar una mayor ocupación radical y prolongar su efecto en el tiempo (Ramírez *et al.,* 2017).

Dicho estudio con sus resultados también confirma la tesis de que cuando se incluye una cepa eficiente de hongos micorrízicos arbusculares, la cantidad de nutrientes a aplicar para alcanzar un determinado rendimiento suele ser menor que la necesaria para lograr ese mismo resultado en ausencia de inoculación micorrízica, aspecto que también se ha demostrado en otros estudios (Ramírez *et al.,* 2017, Rosales *et al.*, 2017b).

De la misma manera, algunos autores han detectado que las estructuras fúngicas dependen de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, debido a que la simbiosis micorrízica está controlada por el suministro de carbono del hospedero, de modo tal que las estructuras fúngicas se pueden incrementar con un suministro adecuado de nutrientes; o, por el contrario, puede reducirse cuando se aplican cantidades de fertilizantes que exceden los requerimientos de los cultivos, ya que la entrega de los recursos del suelo a la planta hospedante a través de los hongos micorrízicos pierde importancia (Grman y Robinson, 2013; Castillo *et al.*, 2014; Ramírez *et al.,* 2017).

Un estudio desarrollado en Cuba sobre el efecto de la inoculación micorrízica en la rehabilitación de un cultivo de pasto Saboya corrobora su impacto beneficioso en el incremento de la altura de las plantas, en la mejora del porcentaje del área cubierta por dicho pasto, en la mejora del estado nutricional de las plantas, así como en el aumento del rendimiento de la biomasa, resultados que se atribuyen a la eficiencia de la cepa introducida *Glomus cubense* (Rosales *et al.,* 2017a).

Numerosos autores señalan que la aplicación de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares incrementa la efectividad de la absorción de los nutrientes tanto del suelo como de los fertilizantes, y como consecuencia se produce un incremento de la producción de biomasa del pasto (González, 2015; Rosales *et al.,* 2017b; Canchani *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

La inoculación de hongos micorrízicos arbusculares conjuntamente con la fertilización nitrogenada sobre el pasto Saboya constituye una opción válida para optimizar la absorción de minerales y nutrientes de este género mejorando su rendimiento y calidad, lo cual favorece el perfil alimentario del ganado en el cantón Chone y el país. De igual manera, constituye una práctica sustentable al disminuir el riesgo de contaminación ambiental y representa un ahorro económico dado el menor gasto en fertilizante.

El desafío más importante para el Ecuador, en este sentido, es el fomento de líneas investigativas dirigidas a la implementación de ambos métodos de fertilización para alcanzar elevados índices de productividad del pasto Saboya, tomando en cuenta factores como el tipo de suelo, la selección de cepas eficientes de micorrizas arbusculares y el manejo de cantidades de fertilizante nitrogenado acorde a las necesidades reales del suelo.

LITERATURA CITADA

Abbott, G. 1994. An ecological view of the fomation of VA mycorrhizas. Plant and Soil, 159(1): 69-78.

Aguilar, W., Arce, P., Galiano, F., & Torres, T. 2015. Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. Tecnología en Marcha, Edición Especial: 5-14.

Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. Agricultura Técnica en México, 26(2): 191-203.

Álvarez, G., Vargas, J., Franco, F., Álvarez, P., Samaniego, M., Moreno, P., Chacón, E., García, A., Arana, R., Ramírez, J. 2016a. Rendimiento y calidad del pasto Megathyrsus maximys fertilizado con residuos líquidos de cerdo. Revista Electrónica de Veterinaria, 17(6): 1-9.

Álvarez, G., Vivas, R., Suárez, G., Cabezas, R., Jacho, T., Llerena, T, Valverde, H., Moreira, E., García, A., Chacón, M., Verdecia, D. 2016b. Componentes del rendimiento y composición química de Megathyrsus maximus en asociación con leguminosas. Revista Electrónica de Veterinaria, 17(12): 1-12.

Arnau, L., & Sala, J. 2020. La revisión de la literatura científica: Pautas, procedimientos y criterios de calidad. Barcelona: Departament de Teories de l`Educació i Pedagogia Social, Universitat Autónoma de Barcelona.

Astudillo, H. 2014. Determinación de la edad y la hora de corte sobre la concentración de carbohidratos solubles en el Panicum maximum (Pasto Guinea). Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis de grado.

Barrera, J., & Arango, G. 2015. Uso y Manejo de las Micorrizas: Investigación en cultivos. Universidad Nacional de Palmira. https://www.engormix.com/agricultura/articulos/uso-manejo-micorrizas-investigacion-t32322.htm

Barrera, S. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 7(1): 123-132.

Bernal, G., & Moralez, R. 2006. Micorrizas: Importancia, Producción e Investigación en el Ecuador. Quito: ANCUPA.

Bernal, J. 2003. Pastos y forrajes tropicales. Producción y Manejo. Colombia: Editorial Ideagro 4ta Edición.

Bernal, J., & Espinosa, J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. Ecuador: International Plant Nutrition Institute-INPOFOS. https://www.academia.edu/6676325/MANUAL_DE_NUTRICION_Y_FERTILIZACION_DE_PASTOS

Blanco, F., & Salas, E. 1997. Micorrrizas en la agricultura: Contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. Agronomía Costarricense, 21(1): 55-67.

Blaxter, K., Wainman, F., Dewey, P., Davison, D., & Gunn, J. 1971. The effects of nitrogenous fertilizer on the nutritive value of artificially dried grass. Journal of Agriculture Science, 76(1): 307-319.

Bolívar, A., Toro, M., Sandoval, M., & López, M. 2009. Importancia ambiental y socioeconómica de las micorrizas en el cultivo de cacao. Caso: Hacienda Cata, Municipio Ocumare Costa de Oro, Estado Aragua, Venezuela. Agronomía Tropical, 59(4): 1-9.

Cabalceta, G. 1999. Fertiliación y nutrición de Forrajes de altura. Xl Congreso Nacional Agronómico I Jl/Congreso Nacional de Suelos, 3(54): 239-254.

Cáceres, O., Santana, H., & Delgado, R. 1989. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el valor nutritivo y rendimiento de nutrimentos. Pastos y Forrajes, 12(2): 189-195.

Calderón, M., & González, P. 2007. Respuesta del pasto Guinea (Panicun maximun cv. Likoni) cultivado en suelo ferralítico rojo lixiviado a la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares. Cultivos Tropicales, 28(3): 33-37.

Canchani, A., Espaillat, R., & López, J. 2018. El efecto y la aportación de la micorriza en el desarrollo de cultivos agrícolas. Revista Perspectiva en asuntos ambientales, 6(1): 12- 24.

Cano, M. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, trichoderma spp. y Pseudomonas spp. Una revisión. Revista U.D.CA Actualidad y Divulgación Científica, 14(2): 15-31.

Cárdenas, D., Garrido, M., Roncallo, B., & Bonilla, R. 2014. Inoculación con Azospirullum spp y Enterobacter aglomerans en Pasto Guinea (Panicum maximum Jacq.) en el Departamento de Cesar Colombia . Revista Facultad Nacional de Agronomía- Medellín, 67(2): 7271-7280.

Cardona, G., Peña- Venegas, C., & Arcos, A. 2008. Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (capsicum sp.) en la Amazonía colombiana. Agronomía Colombiana, 26(3): 459-470.

Castillo, C., Fredericksen, C., Koch, R., & Sieverding, E. 2014. Effect of seed treatment with natural products onearly arbuscular mycorrhizal colonization of wheat by Claroideo glomus claroideum. J. Appl. Bot. Food Qual, 87: 117-123.

Castro, I. 2009. Análisis de la estructura y diversidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas asociados a plantas de interés ecológico en ambientes mediterráneos. España: Universidad de Granada. Tesis doctoral.

Castro, R., Mojica, R., León, J., Pabón, M., Carulla, J., & Cárdenas, E. 2009. Balance de nitrógeno en pastura de gramíneas y pasturas de gramínea más Lotus uliginosus en la sabana de Bogotá, Colombia. Revista Corpoica- Ciencia y Tecnología agropecuaria, 10(1): 91-101.

Ceballos, M. 2019. Respuesta del pasto Saboya (Panicum maximun), establecido bajo dos sistemas de manejo a niveles de fertilización química en la zona de Babahoyo. Los Ríos- Babahoyo: Universidad Técnia de Babahoyo. Tesis previa obtención del título de Ingeniero Agropecuario.

Cerdas, R., & Vallejos, E. 2011. Disponibilidad de biomasa del pasto guinea (Megathyrsus maximus) Tanzania con varias fuentes y dosis de nitrógeno en Guanacaste, Costa Rica. InterSedes, 12(23): 30-40.

Corredor, G., Otalvaro, D., & Álbarez, C. 2003. Metodologías empleadas para el estudio de micorrrizas arbusculares. Bogotá: Programa Nacional de Recursos Biofísicos, CORPOICA.

Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy, Z., & Urdaneta, C. 2007. Las micorrizas arbusculares como una alternativa de agricultura sustentable en áreas tropicales. Interciencia, 1(2): 23-29.

Cunalata, Y. 2019. Caracterización morfológica de pasto Saboya (Panicum maximum Jacq.) en el cantón Babahoyo. Los Ríos, Babahoyo: Universidad Técnica de Babahoyo. Tesis de grado previa la obtención del título de Ingeniera Agrónoma.

Evans, D., & Miller, M. 1990). The role of external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization in maize. New Phytol, 114(1): 65-71.

França, A., Borjas, A., Oliveira, E., Soares, T., Miyagi, E., & Sousa, V. 2007. Parâmetros nutricionais do capim-tanzânia sob doses crescentes de nitrogênio em diferentes idades de corte. Ciênc. Anim. Bras, 8(1): 695-703.

Garzón, L. 2016. Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la Amazonía colombiana. Revista Luna Azul, 42(1): 217-234.

González, P. 2015. Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular via inoculación y la fertilización mineral en pastos del género Brachiaria. Habana: Editorial Universitaria.

González, P., Ramírez, J., Morgan, O., Rivera, R., & Plana, R. 2015. Contribución de las inoculación micorrízica arbuscular a la reducción de la fertilización fosfórica en Brachiaria decumbens. Cultivos Tropicales 36(1): 135-142.

Grman, E., & Robinson, T. 2013. Resource availability and imbalance affect plant-mycorrhizal interactions:

afield test of three hypotheses . Ecology 94(1): 62-71.

Guerra, B. 2008. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. Tecnología en Marcha, 21(1): 191-201.

Guirao-Goris, J., Olmedo, A., & Ferrer, E. 2008. El artículo de revisión. Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria, 1(1): 1/16. http://revista.enfermeriacomunitaria.org/articuloCompleto.php?ID=7

Gutiérrez, M. 1996. Pastos y forrajes en Guatemala: su manejo y utilización, base de la producción animal. Guatemala: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Escuela de Zootecnia. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Habte, M., & Osorio, N. 2001. Arbuscular mycorrhizas: producing and applying arbuscular mycorrhizal inoculum. Hawaii: Collage of tropical agriculture and human resources. University of Hawaii at Manoa.

Jiménez, V. 2009. Efecto de diferentes inóculos comerciales de hongo micorrízico arbusculares sobre "Cedreka mantana" en etapa de vivero. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tesis de grado por el título de Ingeniera Forestal.

Kurle, J., & Pfleger, F. 1994. The effects of the cultural practices and pesticides on VAM fungi in Micorrhizae and plant healt. Minesota: Editorial F. L. Pfleger and R.G.Lin- derman Minnesota APS Press.

León, R. 2003. Pastos y Forrajes, Producción y Manejo. Ecuador: Ediciones científicas Agustín Álvarez Cía Ltda.

Loayza, J. 2008. Evalución del pasto Saboya (Panicum maximum jacq) en el período de mínima precipitación, sometido a tres sistemas de pastoreo, en el acabado de toretes y vaconas Charbray, en la Hacienda San Antonio. Santo Domingo, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

López, V. 2015. Efecto de la fertilización de mantenimiento en el segundo año de establecida una pastura sobre su dinámica poblacional y algunas características del suelo en el CADET, Pichincha. Quito: Universidad Central del Ecuador. Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Louis, I., & Lim, J. 1988. Differential response and growth and mycorrhizal colonization on soybean to inoculation with two isolatess of Glomus c/aram in soils of diferent P availability. Plant and Soil, 112(1): 37-43.

Lozano, J., Armbrecht, I., & Montoya, J. 2015. Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. Acta Agroecología y Sistemas de Uso del Suelo, 64(4): 289-296.

Macías, D., Vargas, P., Solórzano, M., Mendoza, F., & Intriago, F. 2017. Evaluación Agroproductiva del pasto Panicum maximun cv Mombaza en el Cantón el Carmen, Manabí -Ecuador. Revista ESPAMCIENCIA, 10(2): 78-84.

Maldonado, S. 2008. Estudio del comportamiento de las asociaciones micorrízicas en el material gemoplásmico de palma aceitera en Ecuador. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Tesis previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias Biológicas.

Memoria Técnica Cantón Chone. 2013. Proyecto Generación de Geoinformación para la Gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25000 Sistemas Productivos. Manabí: Memoria Técnica Cantón Chone.

Mendoza, R. 2002. Investigaciones sobre el uso del nitrógeno para la producción de pastos tropicales. Maracay- Venezuela: Instituto de Investigaciones Zootécnicas.

Mesquita, E., & Neres, M. 2008. Morfogenese e composicao bromatológica de cultivares de Panicum maximum em funcao de adubação nitrogenada. Revista Brasileira de Saúde e Producion Animal, 9(1): 201-209.

Molina, M., Mahecha, L., & Medina, M. 2005. Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias Universidad de Antioquía, 6(2):1-17.

Montaño, N., Camargo- Ricalde, S., García- Sánchez, R., & Monroy, A. 2009. Micorrizas arbusculares en ecosistemas árido y semiáridos. México: Instituto Nacional de Ecología- SEMARNAT, Mundi-Prensa S.A. de CV, UAM- Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM.

Moran, A. 2002. Composición química de pasto Panicum maximum común a diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Esmeraldas- Ecuador: Universidad Luis Vargas Torres. Tesis por el título de Ingeniero Zootecnista.

Morán, C. 2019. Comparación de dos intervalos de Cortes del pasto Saboya (Panicum máximum jq) en su rendimiento de biomasa y valor nutritivo. Babahoyo, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Noda, Y. 2009. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. Pastos y forrajes, 32(2): 1-10.

Nuñez, J., Ñaupari, J., & Flores, E. 2019. Comportamiento nutricional y perfil alimentario de la producción lechera en pastos cultivados (Panicum maximum Jacq). Revista Peruana de Investigación Veterinaria, 30(1): 178-192.

Núñez, M. 2018. Efecto de Azospirillum sp., Trichoderma harzianum y micorrizas en la producción de pasto Marandú (Brachiaria brizantha) y pasto Guinea (Panicum maximum). Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Agrónoma en el Grado Académico de Licenciatura.

Parodi, G., & Pezzani, F. 2011. Micorrizas arbusculares en dos gramíneas nativas de Uruguay en áreas con y sin pastoreo. Agrociencia Uruguay, 15(2): 1-10.

Peñaherrera, A. 2015. Producción y calidad forrajera de pasto Saboya (Panicum maximum Jacq) a diferentes edades y alturas de corte. Santo Domingo de los Tsáchilas: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario.

Peoples, M., Herridge, D., & Ladha, J. 1994. Management of biological nitrogen fixation for the development of more productive and sustainable agricultural systems. Plant and Soil. Symposium on biological nitrogen fixation for sustainable agriculture at the 15th congress of soil science. Acapulco, México, 174(1): 3-28.

Pérez, A., Rojas, J., & Montes, D. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agrosistemas de praderas en el Caribe colombiano. Revista Colombiana Ciencia Animal, 3(2): 366-385.

Pérez, O. 2014. Eficiencia de uso de nitrógeno en pasturas de Panicum maximun y Brachiaria sp. solas y asociadas con Pueraria phaseoloides en la altillanura colombiana. Bógota: Universidad Nacional de Colombia. Tesis de opción al grado de Maestría en Producción Animal.

Ramírez, J., González, P., Salazar, X., LLanes, D., Rivera, R., Hernández, A., & Plana, R. 2017. Inoculación micorrízico arbuscular y reducción de la fertilización orgánica y nitrogenada en *Megathyrsus maximus* cv. Liconi. Pastos y Forrajes, 40(2): 1-9.

Ramírez, J., Herrera, R., Leonard, I., Cisneros, M., Verdecia, D., & Álvarez, Y. 2012. Rendimiento de indicadores de calidad en Panicum maximum vc. Likon en el Valle del Cauto, Cuba. Revista Electrónica Veterinaria, 13(4): 1-8.

Reynolds, S. 1982. Contributions to yield, nitrogen fixation and transfer by local and exotic legumes in tropical grass-legume mixtures in Western Samoa. Tropical Grasslands, 16(2): 76-80.

Riera, M., & Medina, N. 2005. Influencia de las micorrizas sobre las poblaciones bacterianas y su efecto sobre los rendimientos en secuencias de cultivos. Cultivos Tropicales, 26(4): 21-27.

Rosales, P., González, P., Ramírez, J., & Arzola, J. 2017a. Efecto de la inoculación micorrízica arbuscular en la rehabilitación de un pastizal cultivado de guinea (Megathyrsus maximus cv. Likoni). Revista Cultivos Tropicales, 38(4): 1-25.

Rosales, P., González, P., Ramírez, J., & Arzola, J. 2017b. Selección de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares para el pasto Guinea (Megathyrsus maximus cv. Likoni). Cultivos tropicales, 38(1): 24-30.

Santos, I., Pinto, J., Siqueira, J., Morais, A., & Santos, C. 2002. Influencia do fósforo, micorriza e nitrogenio no conteúdo de minerais de Brachiaria brizantha e Arachis pintoj consorciados. Revista Brasileña de Zootecnia, 31(1): 605-616.

Seguel, A. 2014. El potencial de las micorrizas arbusculares en la agricultura desarrollada en zonas áridas y semiáridas. IDESIA, 32(1): 3-8.

Segura, N. 2007. Evaluación del Pasto Saboya (panicum maximum) sometido a tres sistemas de manejo, en el acabado de toretes y vaconas Charbray en la Hacienda San Antonio. Santo Domingo Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito. Tesis de grado

previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems. Federal Republic of Germany: Technical Cooperation.

Usuga, C., Castañeda, D., Franco, A., Gómez, F., & Lopera, C. 2008. Efecto de la micorrización y la fertilización en la acumulación de biomasa en plantas de banano(Musa AAA cv. Gran Enano) (Musaceae). Revista Facultad Nacional Agronomía- Medellín, 61(1): 4269-4278.

Valencia, C., & Zúñiga, D. 2015. Análisis de la presencia natural de micorrizas en cultivos de algodón (Gossypium barbadense L.) inoculados con Bacillus megaterium y/o Bradyrhizobium yuanmingense. Ecología Aplicada, 14(1): 65-69.

Vargas, J., Leonard, I., Uvidia, H., Ramírez, J., Torres, V., Andino, M., & Benítez, B. 2014. El crecimiento del pasto Panicum maximum cv Mombaza en la Amazonía Ecuatoriana. Revista Electrónica de Veterinaria (REDVET), 15(9): 1-7.

Vélez, S. 2009. Evaluación del pasto Saboya (Panicum maximum Jacq) in vitro y corte sometido a diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Calceta, Ecuador: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Verdecia, D., Ramírez, J., Leonard, I., Pascual, Y., & López, Y. 2008. Rendimiento y componentes del valor nutritivo del Panicum maximum cv. Tanzania. Revista Electrónica de Veterinaria, 9(5): 1-9.

Whitehead, D. 1995. Grassland Nitrogen. Gran Bretaña: Ediciones CAB International, Guildford.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

EFFECTS OF COMPACTION, MOISTURE AND DEPTH ON THE PARAMETERS OF THE KOSTIAKOV EQUATION

EFECTOS DE LA COMPACTACIÓN, HUMEDAD Y PROFUNDIDAD SOBRE LOS PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN DE KOSTIAKOV

Américo J. Hossne García, Jesús Méndez N., I.J. Smith, P. Velázquez, L.M. Leiva G., Alexander Gil

Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, Departamento de Ingeniería Agrícola Campus Los Guaritos, Maturín, Estado Monagas, Venezuela.

Email: hossnegarciaamerico@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo: Artículo original

Recibido: 22/05/2020

Aceptado: 05/05/2021

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA 12(1):56-68

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.263

Abstract

This report consisted of studying the effects caused by the soil physical characteristic, in the presence of wetness variations and structures-texture fluctuations, to the Kostiakov constants. The objectives were to investigate the effects of wetness, soil depth, and compaction on the Kostiakov constants “a”, and “b”. The experimental unit consisted of nine polyvinyl cylinders. Statistical analysis under a randomized block design with three replications and three factors: wetness with five levels, soil depth (0-15, 15-30 and 45-60) and compaction with three levels (0, 13 and 26 blows). The relation between the instantaneous infiltration versus compaction and bulk density were inversely proportional. The parameter “a” influenced infiltration more than “b”. Soil texture and structure influenced “b” more than wetness. Wetness influenced “a” more than compaction and soil depth. Kostiakov parameters exposed physical relations to soil texture and structure.

Keywords: Surface response, proctor test, kostiakov equation theory analysis.

Resumen

Este reporte estudió los efectos causados por las características físicas del suelo, en presencia de las variaciones de la humedad y la textura-estructura fluctuante, a las constantes de Kostiakov. Los objetivos evaluaron los efectos de la humedad, profundidad y compactación sobre las constantes "a" y "b" de Kostiakov. La unidad experimental usó nueve cilindros. Análisis estadístico bajo diseño de bloques al azar con tres repeticiones y tres factores: humedad con cinco niveles, tres profundidades de suelo y compactación con tres niveles. Se concluyó que la relación entre la infiltración y compactación, infiltración y densidad aparente son inversamente proporcionales. El parámetro "a" influyó en la infiltración más que "b". La textura del suelo y la estructura influyeron en "b" más que la humedad. La humedad influyó más que la compactación y la profundidad del suelo en "a". Los parámetros mostraron relaciones físicas con la textura y estructura del suelo.

Palabras clave: Superficie de respuesta, método proctor, análisis teórico de la ecuación de kostiakov.

INTRODUCTION

This report considers to find out that the variance of soil physical and terra mechanics properties in the presence of soil wetness changes or drying and wetting conditions, may perturb Kostiakov parameters. According to Haghnazari *et al*. (2015) and Dingman, (2002) measurements must be collected during or close as possible to the irrigation event using a representative sample of the field area. Mara (2016) reported that pore diameter ≥ 30 microns (0.03 mm) hold no water due to the effect of the attractive force of gravity. Kostiakov (1932) indicated that the equation is no longer applicable once the characteristic steady infiltration rate has been attained. Infiltration variability poses a significant problem for the performance of surface irrigation systems. Not only it reduces the existing and potential irrigation performance, but it also limits the ability to specify improved irrigation strategies. The nature of soil properties does not facilitate direct measurement of the infiltration function. Hence,

there is a genuine need to estimate the parameters of the chosen infiltration function using measured field data. The objectives were to investigate the effects of wetness, soil depth and compaction on the constants "a" and "b" characteristic in the Kostiakov infiltration equation with a view of adapting this equation.

Theory

Poulovassilis *et al*., (1989) stated that many empirical or semi-empirical equations exist for describing the relationship between the cumulative infiltration and the infiltration time, during the process of vertical infiltration of water into the soil mass. Duru *et al*., (2005) suggested that Kostiakov was, apparently, the first to propose an empirical equation. One of the best-known models to assess the behavior of soil water infiltration is Kostiakov developed in 1932 (Kostiakov, 1932; Holzapfel and Matta, 2005; Forero, 2000; Weber and Apestegui, 2016). According to Ahuja *et al*., (2007) this equation applies only for early to intermediate infiltration times before gravity begins to dominate and the infiltration rate approaches a constant value. Kostiakov equation is valid when the infiltration rate is higher than the saturated hydraulic conductivity of the soil (Mazloom and Foladmand, 2013).

Kostiakov equation symbolized by Equation 1, "i" infiltration depth (cm) (also known as total infiltration depth, or infiltration rate, or cumulative infiltration, or cumulative infiltration depth, or cumulative infiltration rate, or infiltrated water since the beginning of infiltration, or steady-state infiltration rate or infiltration time) by length/hour, and the elapsed time (t) since the start of infiltration minute or hour, "a" and "b" are the fitting parameters (constant of empirical adjustment, a > 0 and 0 < b <1), "a" coefficient of infiltration rate, term that depends on the structure and soil conditions (a > 1); considered as an index of soil structure stability, "b" dimensionless parameter (0 - 1 agricultural soil), a time exponent and is a negative value; considered a measure of first-rate of infiltration and structural condition of the soil (Magnus and Adindu, 2014).

$$i = a*tb \text{ (cm)} \qquad (1)$$

Kostiakov equation linearization is done by both equation sides logarithms application. The infiltration "i" is normally plotted versus time on a logarithm graph sheet (double-logarithmic scales) and the best-fit line obtained by the least-squares curve fitting technique. A plot of log(i) against log(t), gives a straight line whose slope gives the value of "b", while log(a) gives the intercept. The value of "a" is obtained from the anti-log(a) (Akinbile, 2010; Magnus and Adindu, 2014):

$$\text{Log}(i) = \log(a) + b*\log(t) \quad (2)$$

$$a = 10\log(a) \text{ equivalent to} = \log(10a) \text{ because } a = \text{antilog}(\log(a)) \quad (3)$$

According to Saito *et a*l., (2016) constant "b" has a negative and strong correlation. This constant does not have clear physical meaning, but when the "b" value is small, the infiltration rate rapidly decreases with time. Thus, "b" values were particularly small where there are horizons of low permeability. These "b" values enhanced the negative slope of the regression line. "a" measures infiltrability at the beginning of the infiltration process and results show that surface soil permeability was strongly correlated with the vegetation. Kincaid *et al*., (1969) found for three different soils (silt loam, sandy loam, and clay), that "a" ranged from 0.225 to 1.1 and "b" from 0.458 to 0.669. According to Adindu *et al.,* (2014); Al-Azawi (1985) and Moroke et al., (2009); "b" is accepted by most authors less than 1 (Al-Azawi, 1985; Moroke *et al.,* 2009; Adindu *et al*., 2014). Since the infiltration decreased with time, the exponent "b" considered negative; in this work varied -1 < b < 0. Analyzing Equation 1, when time tends to infinity, as "b" is negative, "i" would tend to zero instead of a constant value (different from zero). Fubara-Manuel and Otoko, (2015) found in loamy sandy soil in Nigeria, the values of "a", and "b", 0.62 and 0.01 correspondingly. Gosh, (1985) questioned, in the model, the value of "b" between zero and one. Mathematically, he proved that the value of "b" is greater than unity. Mbagwu, (1990) experimentally found that the value of "b" was consistently less than one. On real field plots, Roy and Gosh, (1982) reported that the infiltration rate was neither asymptotic with the time (t) axis, nor attained a zero value. Musa and Adeoye, (2010) found values of "b" that ranged from 0.37 to 1.79, and the infiltration equations obtained for the soils were: 0.41t1.38, 0.41t1.79, 0.50t0.37, 0.42t1.12 and 0.53t1.37, soil structure was not included. Soils that have a very stable structure have values of "b" greater than 0.6 and can reach 1.0 under conditions where gravity flow predominated (Rondón *et al.,* 1980).

Concurring, Swartzendruber, and Huberty (1958) defined "a" as a measure of the average infiltration rate for the first unit time interval and "b" as an indicator of the changes in the system of force with time; also, if "b" was close to 0.5, assumed that capillary forces were controlling infiltration, and that deviation of "b" from 0.5 was a measure of the relative importance of other forces and factors in controlling infiltration; similarly, gravity forces and hydraulic pressures, such as ponding, caused higher values for "b". Swartzendruber and Huberty, (1958) and Dixon, (1976) exhibited that "a" was storage during the first hour, and "b" the ratio which reflected the degree of storage abatement during the first hour, b = 1 indicated no abatement and b = 0 complete abatement; also manifested that the size of parameter "b" was inversely related to the number and intensity of active infiltration decay

processes, and "a" was simply product of the first-hour time-weighted means for the hydraulic conductivity and the hydraulic gradient by Darcy's law at the soil surface.

The derivative of Equation 1 yields the instantaneous infiltration rate (I) indicating the infiltration depth per unit time t. "I" represents the rates of change. The second derivative produces the acceleration rate. The infiltration depth rate units are generally in cm•min-1, multiplied by 60 to convert to cm•h-1. The differential represents an infinitely small change in the variable i. It represents the relationship between a continuously varying quantity and its rate of change:

$$I = \frac{di}{dt} = b*a*t^{b-1} \quad \text{(cm·min-1)} \quad (4)$$

$$di = (b*a*t^{b-1})dt \quad (5)$$

To test the Kostiakov model is necessary to study the basic speed of entry or basic infiltration (least value of f(t) in a finite time interval); defined as the value, when the rate of change of response for a standard period is 10% or less of its value; i.e., infiltration remains constant, after a certain period (Orjuela-Matta *et al.*, 2010; Rode, 1965; Holzapfel and Matta, 2005; Villalobos, 2008):

$$\frac{di}{dt} = -0.1*i \quad (6)$$

$$I = -0.1*a*t^{b} \Rightarrow \quad (7)$$

$$a*b*t^{b-1} = -0.1*a*t^{b} \Rightarrow t = -10*b \quad (8)$$

$$I_{BA} = a*(-10*b)^{b} \quad for \;\; i = a*t^{b} \quad (9)$$

If basic infiltration IBA is in cm•min-1, multiplied by 60, IBA is obtained in cm•h-1. Equation 10 represents the time when the basic infiltration occurs.

$$I_{BA} = a*(-600*b)^{b} \quad (\text{cm·h}^{-1}) \quad (10)$$

Equation 11 represents the infiltration depth; named also, steady-state infiltration rate.

$$I_{INT} = i = a*t^{b} \quad \text{(cm)} \quad (11)$$

Equation 12 represents the total accumulated infiltration (IAC) when integrating i concerning the time

$$I_{AC} = \int_0^t i*dt = \int_0^t a*t^{b}dt$$ An integral ponders an infinite sum of infinitesimal quantities.

$$I_{AC} = \frac{a}{(b+1)}*t^{b+1} \quad \text{cm·min}^{-1}$$

$$I_{AC} = \frac{a}{60*(b+1)}*t^{b+1} \quad (\text{cm·h}^{-1}) \quad (12)$$

Equation 13 represents the average o medium infiltration

$$I_{MED} = \frac{a*t^{b}}{(b+1)} \text{(cm)} \quad (13)$$

The parameters "a" and "b" are site-specific since they depend on texture, structure, vegetative cover, infiltrometer type, moisture condition, rainfall intensity, permeability, soil surface conditions and properties (Al-Azawi, 1985; Moroke *et al.,* 2009; Adindu *et al*., 2014; Smith, 1972; Musa and Adeoye, 2010 Dixon, 1976; Swartzendruber and Huberly, 1958; Childs and Bybordi, 1969; Carvalho et al., 1999; Berndtsson and Larson, 1987; Kelishadi *et al.,* 2014; Dagadu and Nimbalkar, 2012). Giffobd, (1978) concluded, that it appeared that Kostiakov equation coefficients were related more to vegetation factors than to soil factors based on an analysis of data. Naeth *et al*., (1991) established that the lower the value of "b", the flatter the slope and thus the lower the rate of decline of infiltration; and the greater the value of "a", the greater the first infiltration value. The equation has no physical basis and is non-homogeneous, but fits very well to the phenomenon of infiltration and has much use in irrigation. The model does not usually give good results for extended periods as observed in practice, which physically is not true and is at odds with the law of Darcy, for a longer time the ground would behave like a saturated medium and "i" should have values close to Kostiakov. A weakness of this model is that it does not predict a constant rate and last infiltration (Mbagwu, 1994). Fok, (1986) showed that the terms "a" and "b" had physical meanings although several authors have described it as empirical. Despite the weaknesses of the model, many researchers have used the model to study the infiltration processes in soils of the temperate and tropical regions (Bonell and Williams, 1986; Lai *et al*., 1980; Mbagwu, 1987-1990). According to Rondón *et al.,* (1980-1985), the equation had been widely used in irrigation, mainly for its workability; now, several of the equations used in the design of surface irrigation method involve Kostiakov parameters. According to Sonaje, (2013), it describes the infiltration well at minor times but less right at large. No physical interpretation is possible of the constants "a", and "b" since they can only be obtained from field studies and curve-fitting. They cannot be derived from soil physical properties. This attributed to an empirical equation to implicitly account for the effects of factors not considered

by physical equations. Fok, (1986) derived a set of infiltration equations of the form in which the constants related to the same soil parameters. Drawbacks to the equation are that the constants are dependent on first field conditions such as moisture content and crusting, and determined for each irrigation event. Also, the infiltration rate does not approach a constant value, at large times, which is a commonly accepted notion about infiltration behavior in infiltration practice (Roger, 1993).

MATERIALS AND METHODS

Sampling for the experimental analysis achieved on a sandy loam savanna soil in Monagas State, Venezuela, situated at a height of 147 meters and geographical coordinates of 9° 41' 33" north latitude and 63° 23' west longitude; with an annual rainfall of 1127 mm and a mean annual temperature of 27.5 ºC. Under typical savanna vegetation: *Curatella American (Dilleniaceae), Anacardium occidentale, Straw Hairy (Trachypogon and Axonopas sp), Byrsonima crassifolia Malpighiaceae, Hyptis suaveolens* Lamiaceae, Grasses and Cyperaceae among others. The soil area selected belongs to a Ultisol group of the family *Oxic Paleustults Isohipertérmic* in virgin soil conditions. Table 1 shows the physical characteristics and organic matter content. The particle size is in the range established by Rucks *et al*., (2004) and CIVIL2121 (2012). Figure 1 shows the sampling side position. These soils occupy a large Venezuelan agricultural area engaged in the exploitation of many items, with fertilization, such as maize, sorghum, cassava, and pasture. The lab study achieved in the Soil Physical and Mechanical Laboratory of the University of Oriente, Nucleus of Monagas, Juanico; campus located according to UTM E482908.31 N-1076748.00 and E-482924.24 N-1076752.51.

Table 1. Texture and organic matter analysis. Jusepín, Monagas State.

Components	Horizons (cm) 0-15	15-30	45-60	Diameter
	%	%	%	mm
Very coarse sand	1.01	1.31	0.20	1.41
Coarse sand	6.18	5.71	2.69	0.72
Medium sand	19.1	14.26	13.34	0.37
Fine sand	32.38	24.77	26.33	0.151
Very fine sand	15.0	13.11	15.81	0.07
Total sand	73.67	58.66	58.37	
Silt	16.13	17.14	29.43	0.053
Clay (kaolinite)	10.2	24.2	12.2	0.024
Organic matter	1.20	0.61	0.45	
Textural class	SCL	SCL	SCL	

Source: Labsea, Eudoca, 2010. UDO, Monagas
SCL sandy loam

Figure 1. Sampling side position

The experimental unit (Figure 2) consisted of 9 polyvinyl chlorinated cylinders, 15.24 cm diameter and 20 cm height. A soil volume of 2.50 kg/cylinder. Statistical analysis under a randomized block design with three replications; with two factors: humidity with five levels (3, 6, 9, 12 and 15%) and Proctor compaction with three levels (0, 13 and 26 blows). The shear tension measurement obtained with a manual in-situ vane shears tension tester (Leiva, 2011; Smith, 2011; Vásquez, 2011).

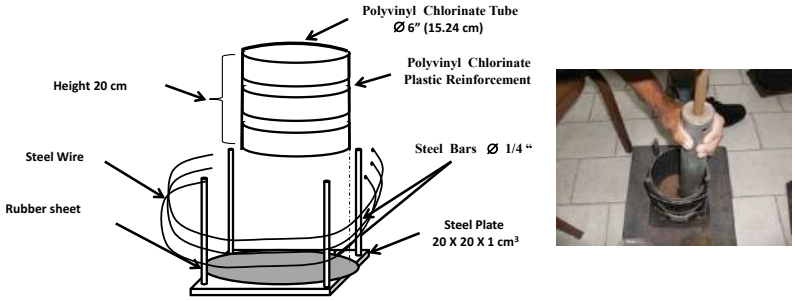

Figure 2. Experimental unit and Proctor tester

The Proctor compaction test is an experimental laboratory method for determining the optimal moisture content at which a given soil type will become most dense and achieve its maximum bulk density. The original test, most commonly called the standard Proctor compaction test (ASTM, 2009).

A piece of tape, stuck on the cylinder wall, with millimeter-scale allowed assessments. The measurements consisted of finding the sheets of infiltrated water into the cylinders, with at least 10 readings per time intervals ranging between 1 and 60 minutes. The regression analyses curve fit and the multiple regression analysis with backward steps were used. The Durbin Watson statistic test autocorrelation always considered between 0 and 4. If the Durbin–Watson is substantially less than 2, there is evidence of positive correlation. As a rough rule of thumb; if Durbin–Watson is less than 1.0, there may be a cause for alarm. If > 2, successive error terms are negatively correlated (Montgomery *et al*., 2001). Table 2 shows the terminology employed.

Table 2. Terminology employed

a and b	Kostiakov's equation parameters
BL	Block
CO	Compaction blows
CV	Coefficient of variance
DF	Degree of freedom
F	*F*-statistical significance
i	*Infiltration depth*
I_{BA}	Basic infiltration cm·h^{-1}
MS	Mean sum of squares
P	*P*-value significance
PR	Soil profiles
SS	Sum of Square
w	Soil wetness
w_{op}	Optimal wetness
τ	Shear tension
τ_{op}	Optimal shear tension
ρ_S	Bulk density
ρ_{Sop}	Optimal bulk density

RESULTS AND DISCUSSIONS

Se presentarán en un solo capítulo, donde el lector debe The savanna soil terramechanics characteristics, Figure 3, disclose bulk density versus compaction blows, soil wetness, and soil depth, and Figure 4 presents the soil shear tension and bulk density versus soil wetness. This recognizes the wetness influence upon the physical and terramechanical characteristics triggering soil physical variability. These factors affected infiltration. Observe in Figure 4 that at low wetness, the shear tension and bulk density practically did not exist, the soils crumble or powder; the soil particle adhesion (due to water) disappears. Capillary forces can exceed 10 kPa for particles smaller than 0.02 mm and 1 MPa for particles <0.0002 mm (Santamarina, 2001).

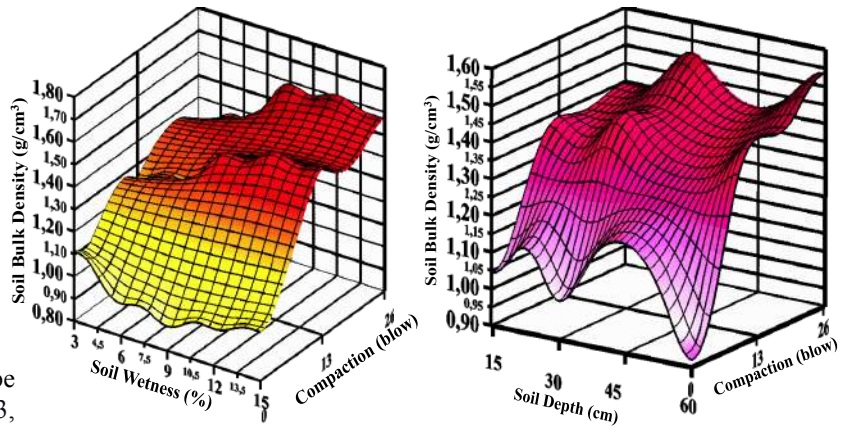

Figure 3. Soil bulk density versus compaction blows, soil wetness and soil depth

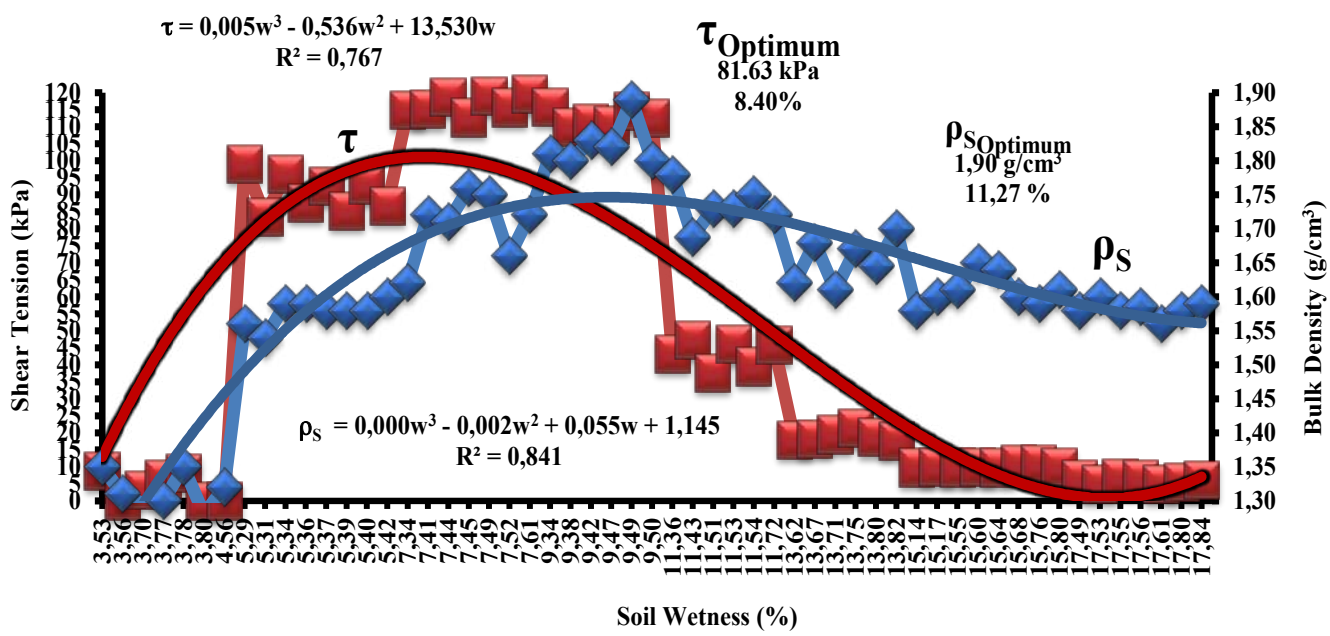

Figure 4. Shear tension and bulk density versus soil wetness for 15 cm soil profile

The τ and ρ_S versus w presented in Table 3 shows the statistical results where it could be observed effects on Kostikove due to soil structure variability.

Table 3. Regression analysis, with 55 total cases, of τ and ρ_S versus w

τ versus w	
$\tau = 19.428*w - 1.156*w^2$	
R^2 79%, adjusted R^2 78% Estimated without constant term	0.0000 ANOVA
Coefficients significance 0.000	
The optimum value of τ_{op} = 81.63 kPa for w_{op} = 8.40%.	
ρ_S versus w regression analysis curve fit	
$\rho_S = 0.338*w - 0.015*w^2$	
R^2 99%, adjusted R^2 89.9	0.000 ANOVA
0.000 significance for w and w^2 coefficients	
ρ_{Sop} = 1.90 g/cm^3 for w_{op} = 11.27%	

Soil infiltration correlated to soil physical and texture exists acknowledged by many studies. Amin (2005) and Michael (2010) noted that the factors affecting infiltration rate (i) of a soil included, among others, the nature of the soil, humus content, soil surface roughness, moisture content, rainfall intensity, vegetation type, and cover, hydraulic characteristics, and permeability (related to soil texture and structure). Failure to consider adequate infiltration process may result in non-uniform distribution of water in the field as well as excessive water loss due to deep percolation and runoff. The antecedent water content of the soil influences the sorptivity or capacity of a soil to absorb (suck up) water. According to Jagdale and Nimbalkar (2012), different soil conditions affect the soil infiltration rate. Compacted soils have a low infiltration rate which is prone to runoff.

The multiple regression analyses for I_{BA} and the independent fitting variables arrangements a, b, a*b, a^2, b^2 and $a*b^2$ results are presented in Table 4 showing influences on I_{BA}

Table 4. Dependent variable I_{BA} and the independent variable a, b, a*b, a^2, b^2 and $a*b^2$

$I_{BA} = 1{,}02596*a + 4{,}07465*a*b - 1{,}68532*b^2 + 4{,}47057*a*b^2$		
R^2 99.985, adjusted R^2 99.98%	0.0000 ANOVA	Durbin-Watson 1.43
Coefficients significance 0.000 for all		
Greater "a" influence. The "b" values kept practically steady for each value of "a"		

The parameters "a" and "b" variability effect on infiltration in a savanna soil, Figures 5, showed a greater "a" influence. The "b" values kept practically steady for each value of "a".

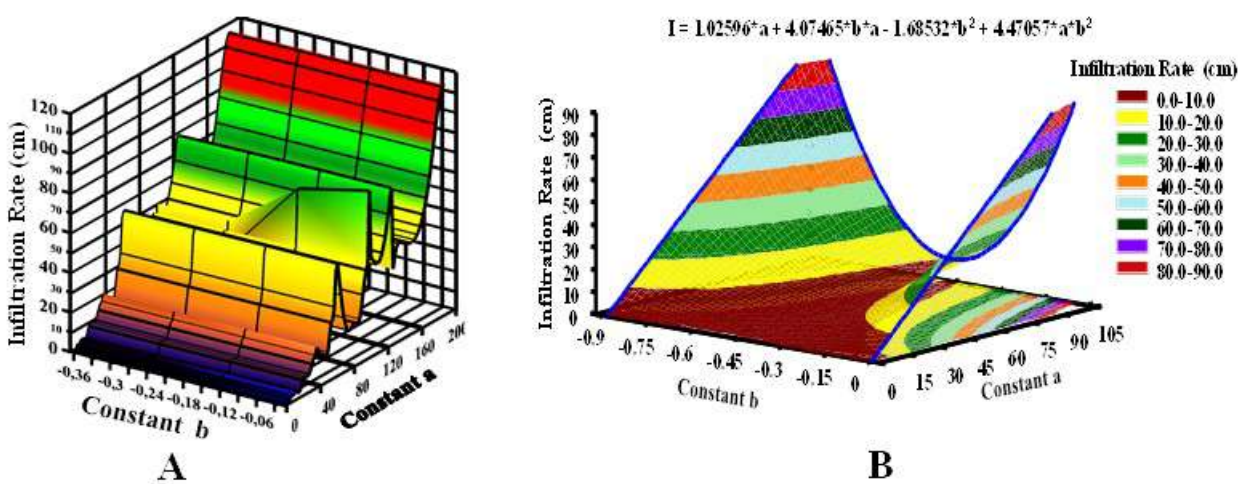

Figure 5. The infiltration rate against constants ¨a¨, and ¨b¨

Coefficients "a" and "b" fluctuations depend on many factors such as soil type, time, ancient moisture and soil hydraulic conductivity (Azad *et al*. 2016; Harteli, 1992). According to Weber and Apestegui (2016), if "b" increases, the initial infiltration rate decreases and basic infiltration rate increases; and if "a" increase, both the initial rate and the final infiltration increases. High value parameters models are probably due to high levels of sand (75.7%). The large range of the variation of coefficient "a", demonstrated considerable spatial variability in the studied area (Azad *et al*. 2016; Duan *et al*. 2011; Zolfaghari *et al*. 2012; Mirzaee *et al*. 2014). Bresler *et al.* (1984) found that between 24-45% "a" variability could be related to sand content and 10-25% explained by the interaction between electrical conductivity and sand amount. Nestor (2006) found for parameter "a", a value of

76.88 for sandy loam. Adindu *et al.* (2014) found for some sandy loam soils for "b" values of -0.48, -0.50, - 0.54, - 0.59, - 0.62 and - 0.84, indicating that the soils saturated at that time of the year (wet season); while the 'a' values ranged from 0.35 - 2.47. Girei *et al*. (2016) considered the values of "a", and "b" very high in almost across all the treatments. The higher the value of "b", the steeper the slope and the greater the rate of infiltration decline. The greater the value of "a", the greater the initial infiltration value (Naeth *et al*., 1991; Turner, 2006). The value of "b" was consistently less than one. Mbagwu (1990) reported similar findings. Mbagwu (1994) found that the soil properties with the greatest influence over the "a" term are the effective porosity and bulk density. According to Kanya (2007) the value of "a" affects the value of "b" depending on the field data. In this work, "b" as a function of ¨a¨, resulted $b = 5E\text{-}07*a^3 - 0.0002*a^2 + 0.0143*a - 0.3666$ with $R^2 = 80.21\%$. Musa and Nosa (2003); Lili et al. (2008); Adindu *et al*. (2014); Azuka *et al*. (2013); Hunsaker *et al*. (1999); Zhuo *et al*. (2009); Mbagwu (1994); Saxton *et al*., (1986); Michael, (1978); Kanya (2007); Maheshwari (1997); Mazloom and Foladmand (2013); Arab *et al*. (2014); Adindu *et al*. (2014); Al-Azawi (1985) noted that soil infiltrability influenced by soil structure, texture, moisture content, initial water content, structure and surface cover conditions, organic matter content, bulk density, clay and fine sand content (texture), wheel furrows, season period, hydraulic conductivity and microporosity contributed immensely to the variation in the infiltration characteristics of the soils.

The "b" ANOVA (Table 5), showed significance with respect to CO, w, PR, CO*w and w*PR

Table 5. Constant "b", analysis of variance for BL, CO, w, PR and the combined effects: BL*CO, BL*w, BL*PR, CO*w, CO*PR and w*PR of a savanna soil of Monagas State of Venezuela.

Sources	DF	SS	MS	F	P
Block (BL)	2	0.02376	0.01188	1.25	0.2922
Compaction (CO)	2	0.13147	0.06573	6.90	**0.0016**
SOIL WETNESS (w)	4	0.63076	0.15769	16.56	**0.0000**
SOIL DEPTH (PR)	2	0.20237	0.10118	10.63	**0.0001**
BL*CO	4	0.02206	0.00552	0.58	0.6785
BL*w	8	0.10931	0.01366	1.43	0.1933
BL*PR	4	0.02206	0.00552	0.58	0.6785
CO*w	8	0.75621	0.09453	9.93	**0.0000**
CO*PR	4	0.06578	0.01645	1.73	0.1512
w*PR	8	0.21516	0.02690	2.82	**0.0078**
Error	88	0.83802	0.00952		
Total	134	3.03128			
Mean			-0.2016		
CV	48.41			Alfa: 0.05	

The multiple regression analysis of CO*w effects on the dependent "b" and the independent variables CO, w, CO*w, CO^2, w^2, CO^2*w, $CO*w^2$, CO^2*w^2, Table 6 and Figure 6 shows that the greatest value for "b" happened for w and CO higher values, validated in Table 6.

Table 6. The multiple regression analysis of CO*w

The combined effect CO*w on the dependent variable "b"	
$b = -0.231256*CO + 0.0382744*CO^2 + 0.00017692*CO^2*w^2$	
R^2 92.2, adjusted R^2 90.79% without constant term	0.0000 ANOVA
Coefficients significance 0.000 significance for w and w^2	
In the response surface chart of Figure 6, "b" decreased with respect to compaction at low wetness; but, increased at higher wetness. "b" varied with soil compaction and soil wetness	
According to Negro (1998) constant "b" gives an idea of the soil water content at the initial process	

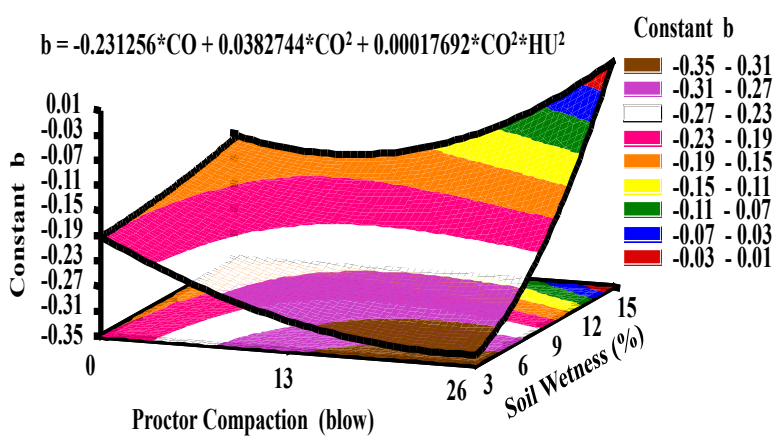

Figure 6. Surface response draft of empirical constant b versus CO and w

The w*PR multiple regression analysis and results related with dependent variable "b" and the independent variables PR, w, PR*w, PR^2, w^2, PR^2*w, PR*w^2, PR^2*w^2 are presented in Table 7. Figure 7 shows that the greatest value for "b" happened for 15% wetness and 15 cm depth, validated in Table 7.

Table 7. The multiple regression analysis of w*PR

The multiple regression analysis of w*PR versus "b"	
b = − 0.00868566*w - 0.0105247*PR + 0.000728146*w*PR	
R^2 94.72%, adjusted R^2 93.83% without constant term	0.0000 ANOVA
P significance of 0.0450, 0.0000 and 0.0005 respectively	
Durbin-Watson 2.29	
In the response surface chart of Figure 7, "b" with respect to w and PR, with the highest value at 15% water range for all soil depth. It could be supposed that constant "b" highest values indicated high soil wetness	

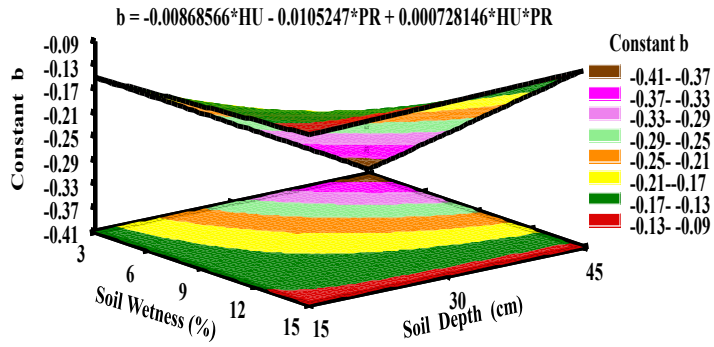

Figure 7. Surface response chart of constant "b" versus soil w and PR

The "b" indicates how the infiltration rate reduces with time; therefore, it depends on the soil structure changes, resulting from wetting. A small value of "b" indicates that the structure is not stable so the infiltration rate reduced due to structure changes.

The analysis of variance of "a" (Table 8), showed significance with respect to CO, w, PR, CO*PR, CO*w and w*PR.

Table 8. Constant "a", analysis of variance for BL, CO, w, PR and the combined effects: BL * CO, BL*w, BL*PR, CO *w, CO*PR and w*PR of a savanna soil of Monagas State of Venezuela.

Constant a					
Sources	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	P
Block (BL)	2	185	92.5	0.44	0.6448
Compaction (CO)	2	51226	25613.1	122.11	**0.0000**
SOIL WETNESS (w)	4	8550	2137.4	10.19	**0.0000**
SOIL DEPTH (PR)	2	2771	1385.5	6.61	**0.0021**
BL*CO	4	365	91.4	0.44	0.7826
BL*w	8	633	79.1	0.38	0.9302
BL*PR	4	706	176.4	0.84	0.5029
CO*w	8	15120	1890.0	9.01	**0.0000**
CO*PR	4	9925	2481.2	11.83	**0.0000**
w*PR	8	5588	698.5	3.33	**0.0023**
Error	88	18459	209.8		
Total	134	113527			
Mean			21.931		
CV	66.04			Alfa: 0.05	

The multiple regression analysis of w*PR effects on the dependent variable "a" and the independent variable: w, PR, w*PR, w^2, PR^2, w^2*PR, w*PR^2, w^2*PR^2 is presented in Table 9. Figure 8 shows that the greatest value for "a" happened between 9-12% w and 15-30 cm PR, validated in Table 8.

Table 9. The multiple regression analysis of w*PR effects on "a"

The combined effect w*PR effects on the dependent variable "a"	
a = 28.2626*w - 1.47911*w*PR - 1.9994*w^2 + 0.0223972*w*PR^2 + 0.110408*w^2 *PR - 0.0016*w^2*PR^2	
R^2 97.08%, adjusted R^2 95.46% without constant term	0.0001 ANOVA
Coefficients significance 0.001, 0.0015, 0.0003, 0.0026, 0.0022, and 0.0035 respectively	
Durbin-Watson 1.89	
In the response surface chart, Figure 8, "a" varied with respect to w and slightly with PR, with the highest value around 15-30 cm and 9-12%	

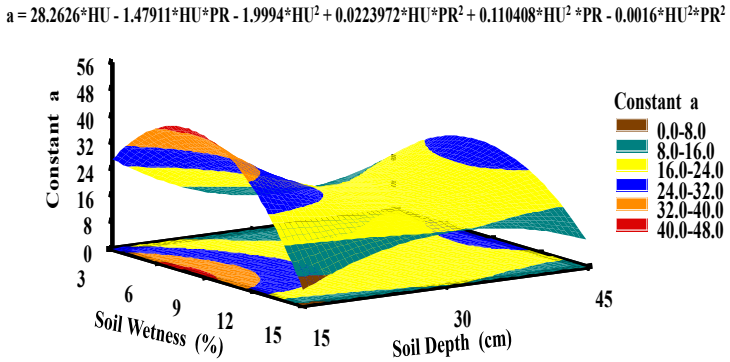

Figure 8. Surface response chart of constant "a" versus w and PR

The CO*PR multiple regression, along with the dependent variable "a", generated a model that included PR, CO^2*PR, w*PR^2 and w^2*PR^2 presented in Table 10. Figure 9 shows that the greatest value for "a" happened for 45 cm, and 0 soil CO; also, validated in Table 9.

Table 10. The multiple regression analysis of CO*PR related with "a"

Dependent variable "a" versus CO*PR	
a = 1.03576*PR - 0.00103333*CO^2*PR - 0.00203549*CO*PR^2 + 0.000072063*CO^2*PR^2	
R^2 99.82%, adjusted R^2 99.68% without constant term	0.0000 ANOVA
Coefficients significance 0.0000, 0.0021, 0.0001 and 0.0002 respectively	
Durbin-Watson 2.68	
In the response surface chart of Figure 9, "a" varies with respect to CO slightly compared to PR, with the highest value at 45 cm and 0 CO	

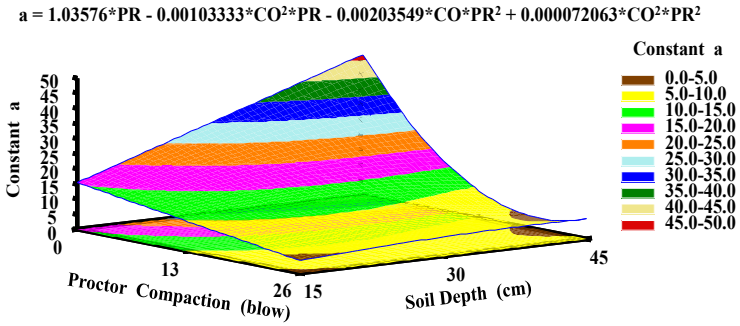

Figure 9. Surface response chart of constant ¨a¨ versus CO and PR

The multiple regression analysis of CO*w along with the dependent variable "a", generated the model a = 10.68*w − 1.50*C0*w − 0.45* presented in Table 11. Figure 10 shows that the greatest value for "a" happened for w between 6 and 9 %, and 0 CO, validated in Table 10.

Table11. The multiple regression analysis of CO*w along with "a"

Model generated	
a = 10.6762*w – 1.49969*CO*w – 0.445384*w^2	
R^2 82.7%, adjusted R^2 79.55% without constant term	0.0001 ANOVA
Coefficients significance 0.0001, 0.0079 and 0.0036 respectively	
Durbin-Watson 2.15	
In the response surface chart of Figure 10, "a" varied with respect to CO slightly compared to w, with the highest value between 6 and 9 % and 0 CO	

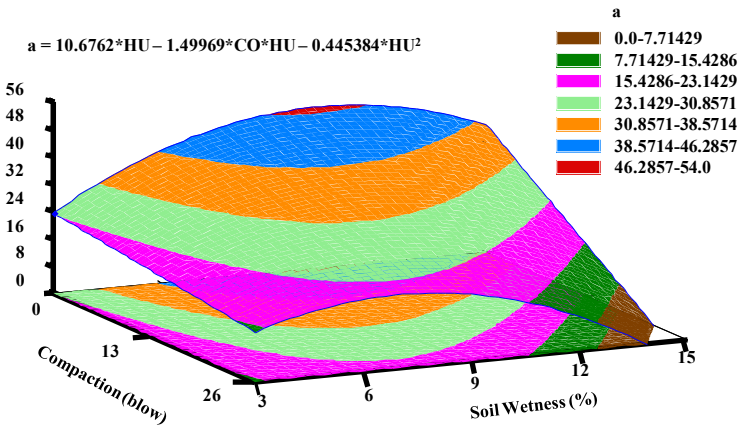

Figure 10. Surface response chart of constant ¨a¨ versus CO and w

The results show that "a" and "b" Kostiakov terms disclosed physical meaning. Fok (1986) showed that the terms of the Kostiakov model have physical meanings even though several authors have described it as empirical. According to Adindu *et al.* (2014), the infiltration constants decay, including negative values obtained for saturated soils, happened when experiments was conducted under many rains. Do not use freely the equations forms adopted in this study in any soil unless the constants characteristic for that particular soil is first determined. The Durbin Watson statistic tests auto correlation considered, resulted suitable.

CONCLUSIONS

The parameter "a" showed greater infiltration influence than "b". The "b" values kept practically steady for each value of "a". The parameter "b" decreased with respect to compaction at low wetness; but, increased at higher wetness standards. The relation between the instantaneous infiltration and compaction, infiltration and bulk density were inversely proportional. Wetness influenced inversely shear tension. Compaction influenced "b" more than wetness. Depth influenced "b" more than wetness. Wetness influenced "a" more than depth. Depth

influenced "a" more than compaction. Wetness influenced "a" more than compaction. Soil texture and soil structure were the properties that most influenced. The greatest value for "b" happened for 15% wetness and 15 cm depth. The "a" analysis of variance, showed significance with respect to CO, w, PR, CO*PR, CO*w and w*PR. There are not studies deriving the Kostiakov constant from soils physical conditions, but they are influenced by its changes caused by wetness perturbation's.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to the Research Council and the Agricultural Faculty of the Universidad de Oriente in Venezuela for its support and funding for this research. Three thesis were obtained.

LITERATURE CITED

Adindu, R.U., Akoma, C.H. and Igbokwe, K.K. 2014. Estimation of Kostiakov's infiltration model parameters of some sandy loam soils of Ikwuano – Umuahia, Nigeria. Open Transactions on Geosciences 1(1): 34-38.

Ahuja, L.R., Kozak, J.A., Andales, A.A. and Ma, L. 2007. Scaling parameters of the lewis- kostiakov water infiltration equation across soil textural classes and extension to rain infiltration. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(5): 1525-1541.

Akinbile, C.H.O. 2010. Comparative analysis of infiltration measurements of two irrigated soils in Akure, Nigeria. Advances in Applied Science Research, 1(1): 49-57.

Al-Azawi, S.A. 1985. Experimental evaluation of infiltration models. Journal of Hydrology (N2), 24(2).

Amin, M. 2005. Spatial variability of infiltration in watershed. Journal of Hydrology, 45: 101–122.

Arab, A.I., Mudiare, O.J., Oyebode, M.A. and Idris, U.D. 2014. Performance evaluation of selected infiltration equations for irrigated (*FADAMA*) soils in Southern Kaduna Plain, Nigeria. Basic Research Journal of Soil and Environmental Science, 2(4): 1-18. ISSN 2345-4090. Available online http//www.basicresearchjournals.org. Copyright ©2012 Basic Research Journal.

ASTM Standard D1557. 2009. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D1557-09.

Azad, B., Fatahi, A.N., Noorolahi, E.M. and Dabiri, D. 2016. Validation of the Kostiakov model to estimate cumulative infiltration in the arid regions of the southwestern Iran. International Journal of Engineering and Advanced Research Technology (IJEART), 2(4): 1-5.

Azuka, C.V., Mbagwu, J.S.C. and Oyerinde, G.T. 2013. Infiltration characteristics and their prediction on a Toposequence at Nsukka, South-Eastern Nigeria. International Journal of Science and Advanced Technology, 3(6): 1-7.

Berndtsson, R. and Larson M. 1987. Spatial variability of infiltration in a semi-arid environment. Journal Hydrology, 90: 117–133.

Bresler, E., Dagan, G., Wagenet, R.J. and Laufer, A. 1984. Statistical analysis of salinity and texture effects on spatial variability of soil hydraulic conductivity. Soil Science Society of America Journal, 48(1): 16-25.

CIVIL2121. 2012. Soil classification. Engineering Geology and Geomechanics. Classification systems based on the US system (The Unified Soil Classification System, USCS), or the British Standard Soil Classification System, The Australian Soil Standard. Http://geotech.uta.edu/lab/main/sieve. 12p. Accessed, February 2012.

Carvalho, J.J., Azevedo, C.A.V., Gomes, E.M., Henrique, J.E. e Neto, D.J. 1999. Efeito das variações espaço-temporais dos parâmetros de Kostiakov-Lewis na infiltração acumulada. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, 3(3): 268-275.

Childs, E.C., and Bybordi, M. 1969. The vertical movement of water in stratified porous material, I, Infiltration, Water Resources Research 5(2): 44-59.

Dagadu, J.S. and Nimbalkar, P.T. 2012. Infiltration studies of different soils under different soil conditions and comparison of infiltration models with field data. International Journal of Advanced Engineering Technology, 3(2): 154-157.

Dingman, L. 2002. Water in soils: Infiltration and redistribution. Physical Hydrology. 2nd Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, *www.colorado.edu/geography/class.../Notes_8.pdf.* 646 pp.

Dixon, R.M. 1976. Comment on 'Derivation of an Equation of Infiltration' by H.J. Morel-Seytoux and J. Khanji. Water Resources Research, 12(1): 116-118.

Duan, R., Fedler, C.B. and Borrelli, J. 2011. Field evaluation of infiltration models in lawn soils. Irrigation Science, 29: 379-389.

Duru, J.O., HJelmfelt, A.I. and Okereke, N.A.A. 2005. Developments in infiltration theory and applications in hydrologic modeling. Processing of the 6th International Conference of the Nigeria Institution of Agricultural Engineers, Yenagoa, 27; 146-155.

Fok, Y.S. 1986. Derivation of Lewis-Kostiakov intake equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 112: 164-171.

Forero, J.A. 2000. Parámetros hidrodinámicos para riego. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Unidad de Publicaciones. 31p.

Fubara-Manuel, I. and Otoko, G.R. 2015. Adapting the modified Kostiakov empirical cumulative infiltration equation for use in Port Harcourt, Nigeria's Niger Delta. American Research Journal of Civil and Structural Engineering, 1(1):10-16.

Giffobd, G.F. 1978. Use of infiltration equation coefficients as an aid in defining hydrologic impacts of range management schemes. Journal of Range Management, 31(2):115-117.

Girei, A.H., Abdulkadir, A. and Abdu, N. 2016. Goodness of fit of three infiltration models of a soil under long-term trial in Samaru, Northern Guinea Savanna of Nigeria. Journal of Soil Science and Environmental Management, 7(5): 64-72.

Gosh, R.K. 1985. A note on Lewis-Kostiakov's infiltration equation. Soil Science, 139:193-196.

Haghnazari, F., Shahgholi, H. and Feizi, M. 2015. Factors affecting the infiltration of agricultural soils: review. International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR), 6(5): 21-35.

Harteli, E. 1992. Comparison of infiltration models. Soil Science Society of America Journal, (25): 103-114.

Holzapfel, E.A. and Matta, C.R. 2005. Infiltración de agua en el suelo. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamento de Recursos Hídricos. 30p.

Hunsaker, D.J., Clemmens, A.J. and Fangmeier, D.D. 1999. Cultural and irrigation management effects on infiltration, soil roughness, and advance in furrowed level basins. Transaction of the ASAE, 42(6): 1753-1762.

Jagdale, S.D. and NImbalkar, P.T. 2012. Infiltration studies of different soils under different soil conditions and comparison of infiltration models with field data. International Journal of Advanced Engineering Technology (IJAET), 3(2): 154-157.

Kanya, L.K. 2007. Toward real-time control of surface irrigation. PhD Dissertation. University of Southern Queensland, Australia. 266 p.

Kelishadi, H., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A. and Ayoubi, S. 2014. Near saturated soil hydraulic properties as influenced by land use management systems in Koohrang region of central Zagros, Iran. Geoderma, 213: 426–434.

Kincaid, D.C., Heerman, D.F. and Kruse, E.G. 1969. Application rates and runoff in center-pivot sprinkler irrigation. Transactions of the ASAE 12 (6):790-794.

Kostiakov, A.N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. Transactions of 6th Congress of International Soil Science Society, Moscow, Part A ,17-21.

Lai, R., Vleeschauwer D.E., D and Nganje, R.M. 1980. Changes in properties of a newly cleared tropical alfisol as affected by mulching, Soil Science Society of American Journal, 44: 827-833.

Leiva, G.L.M. 2011. Relación entre la infiltración y la compactación en el horizonte de 150 a 300 mm de un suelo de sabana, Jusepin del estado Monagas. Trabajo de Grado. Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Escuela de Ingeniería Agronómica, Departamento de Ingeniería Agrícola, Maturín, Monagas, Venezuela. Asesores: Américo J. Hossne G., Jesús Méndez Natera y José A. Gil.

Lili, M., Bralts, V.F., Yinghua, P., Han, L. and Tingwu, L. 2008. Methods for measuring soil infiltration: State of the art. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 1(1): 22–30.

Magnus, U.I. and Adindu, R.U. 2014. Use of Kostiakov's infiltration model on Michael Okpara University of Agriculture, Umudike Soils, Southeastern, Nigeria. Journal of Water Resource and Protection, 6: 888-894. Published Online July 2014 in SciRes. http://www.scirp.org/journal/jwarphttp://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.610083.

Maheshwari, B.L. 1997. Interrelations among physical and hydraulic parameters of non-cracking soils.

Journal of Agricultural Engineering Research, 68(4): 297-309.

Mara, R.P. 2016. Planificación y manejo del agua en la agricultura irrigada. Relación suelo-agua. *https://dytaguas.files.wordpress.com/.* Revisado: 24 febrero 2016. *57 p.*

Mazloom, H. and Foladmand, H. 2013. Evaluation and determination of the coefficients of infiltration models in Marvdasht region, Fars province. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1(8): 822-829.

Mbagwu, J.S.C. 1994. Soil physical properties influencing the fitting parameters in Philip and Kostiakov infiltration models. IC/94/97 Internal Report (Limited Distribution). Atomic Energy Agency W Scientific and Cultural Organization Centre for Theoretical Physics. International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy. Reviewed: 14 October 2015. 12 p.

Mbagwu, J.S.C. 1990. Mulch and tillage effects on water transmission characteristics of an ultisol and maize grain yield in S.B, Nigeria. Pedologie, 40: 155-168.

Mbagwu, J.S.C. 1987. Effects of land use on the hydrological properties of a southeastern Nigerian soil. Beitrage trop. Landwirtsch. Veterinarmed, 25: 375-382.

MIchael, H. 2010. Abiotic factor. Encyclopedia of Earth. National Council for science and the Environment, Washington D.C.

MIchael, A.M. 1978. Irrigation: Theory and practice. Published Bikas Publishing House PUT Limited, New Delhi. 9 p.

Montgomery, D.C., Peck, E.A. and Vining, G.G. 2001. Introduction to linear regression analysis. 3rd Edition, New York, New York: John Wiley & Sons.

Mirzaee, S., Zolfaghari, A.A., Gorji, M., Dyck, M. and Ghorbani, D.S. 2014. Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes. Archives of Agronomy and Soil Science, 60: 681-693.

Moroke, T., Dikinya, O. and Patrick, C. 2009. Comparative assessment of water infiltration of soils under different tillage systems in eastern Botswana. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 34(4): 316–323.

Musa, J.J. and Adeoye, P.A. 2010. Adaptability of infiltration equations to the soils of the Permanent Site Farm of the Federal University of Technology, Minna, in the Guinea savannah zone of Nigeria. AU Journal of Technology, 14: 147-155.

Musa, J.J. and Nosa, A. 2003. Soil grouping of the federal university of technology, minna, main campus farm using infiltration rate. Unpublished M. Eng. Thesis). Federal University of Technology, Minna. 141pp.

Naeth, M.A., Chanasyk, D.S. and Bailey, A.W. 1991. Applicability of the Kostiakov equation to mixed prairie and fescue grasslands of Alberta. Journal of Range Management, 44(l): 18-21.

Negro, V. 1998. Apuntes de infiltración. Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Cátedra de Hidrología Agraria. 11 p. Revisado enero 2016.

Nestor, L.S.Y. 2006. Modelling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network, Hydrological Sciences Journal, 51(1): 3-20.

Orjuela-Matta, Helber M., Rubiano, S.Y. and Camacho-Tamayo, J.H. 2010. Comportamiento de la infiltración en un oxisol. Revista UDCA. Actualidad & Divulgación Científica, 13(2): 31-39.

Poulovassilis, A., Elmaloglou, S., Kerkides, P. and Argyrokastritis, I. 1989. A variable sorptivity infiltration equation. Water Resources Management, 3(4): 287-298.

Rode, A.A. 1965. Theory of soil moisture, Vol. 1 (translated from Russian). Published for USDA and NSF by the Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem.

Roger, M.C.H. 1993. Infiltration parameters for mathematical models of furrow irrigation. Thesis. The University of Arizona. 300 North Zeeb Road. Ann Arbor, Ml 48106-1346 USA. 313/761-4700 800/521-0600. 147 p.

Rondón, C. Khan P. y Zúnico, R. 1980. Relación agua-suelo-planta-clima**.** Jusepín, Monagas, Venezuela. Sección Riego y Drenaje, Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería Agronómica, Departamento de Ingeniería Agrícola, estado Monagas, Venezuela.

Rondón, F., Khan P. y Zúnico, H. 1985. Principios de drenaje agrícola. Jusepín, Monagas, Venezuela., Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería Agronómica, Departamento de Ingeniería Agrícola, estado Monagas, Venezuela.

Roy, G.B. and Gosh, R.K. 1982. Infiltration rate at long times, Soil Science, 134: 345-347.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce D.E., León J. y Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Universidad De La República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas, Montevideo, Uruguay. 68 p.

Saito, T., Yasuda, H., Suganuma, H., Inosako, K., Abe, Y. and Kojima, T. 2016. Predicting soil infiltration and horizon thickness for a large-scale water balance model in an arid environment. Water 8(3): 1-15.

Santamarina, J.C. 2001. Soil behavior at the microscale: Particle forces. Proceeding Symposium Soil Behavior and Soft Ground Construction, in honor of Charles C. Ladd - October 2001, MIT. E-mail: carlos@ce.gatech.edu. Accessed September 2016. 32 p.

Saxton, K., Rawls, W., Romberger, J. and Papendick, R. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America Journal, 50(4): 1031–1036.

Smith, N.I.J. 2011. Relación entre infiltración y compactación en el horizonte de 0 a 150 mm de un suelo de sabana del estado Monagas. Trabajo de Grado. Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Escuela de Ingeniería Agronómica, Departamento de Ingeniería Agrícola, Maturín, Monagas, Venezuela. Asesores: Américo J. Hossne G., Jesús Méndez Natera y José A. Gil.

Smith, R. 1972. The infiltration envelope; results from a theoretical infiltrometer. Journal of Hydrology, 17: 1-21. http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(72)90063-7.

Sonaje, N.P. 2013. Modeling of infiltration process – a review. Indian Journal of Applied Research, 3(9): 1-5.

Swartzendruber, D., and Huberty, M.R. 1958. Use of infiltration equation parameters to evaluate infiltration differences in the field. American Geophysical Union Transaction, 39: 84-93.

Turner, E. 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation by rainfall simulation. Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

Vásquez, L.P.A. 2011. Relación entre la infiltración y la compactación en el horizonte de 450 a 600 mm de un suelo de sabana, Jusepín del estado Monagas. Trabajo de Grado. Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Escuela de Ingeniería Agronómica, Departamento de Ingeniería Agrícola, Maturín, Monagas, Venezuela. Asesores: Américo J. Hossne G., Jesús Méndez Natera y José A. Gil.

Villalobos, M. 2008. Fundamentos de riego. 1era edición. Cartago: Costa Rica, Ediciones Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico (CDMB). 208 p.

Weber, J.F., y Apestegu, L. 2016. Parámetros de los modelos de Kostiakov y Lewis-Kostiakov para áreas permeables del ejido urbano de la ciudad de Córdoba. jweber@civil.frc.utn.edu.ar.https://www.researchgate.net/publication/266475613. Segundo Taller sobre Estudios Hidrológicos en Regiones Áridas y Semiáridas de la República Argentina. Reviewed: 02 April 2016. 11p.

Zhuo, L., Pute, W., Hao, F., Xining, Z., Jun, H. and Wenhua, Z. 2009. Simulated experiment on effect of soil bulk density on soil infiltration capacity. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 25(6): 40-46.

Zolfaghari, A., Mirzaee, S. and Gorji, M. 2012. Comparison of different models for estimating cumulative infiltration. International Journal Soil Science, 7: 108-115.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO EN LA PLANTA INCUBADORA ESPAM-MFL MEDIANTE EL ALGORITMO CORELAP

EVALUATION OF THE SPACE DISTRIBUTION IN THE ESPAM-MFL INCUBATOR PLANT USING THE CORELAP ALGORITHM

María Isabel Delgado Moreira, María Virginia Moreira Macías, Diana Beatriz Vidal Zambrano, Yomaly Melissa Andrade Macías, Carlos Ricardo Delgado Villafuerte

Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, Km 2.7 Vía Calceta – El Limón

Email: mariai.delgado@espam.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Nota técnica

Recibido:
20/05/2020

Aceptado:
14/05/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista:
*ESPAMCIE*NCIA
12(1):69-74

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.201

Resumen

La distribución del espacio causa un alto impacto en el rendimiento de cualquier industria o cadena de procesos. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar la distribución en planta de la incubadora de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López mediante el algoritmo CORELAP. La metodología empleada, se basa en el método SPL (Systematic Layout Planning). Se identificaron los productos para determinar el orden que llevan los movimientos de los materiales a lo largo de diversas etapas del proceso. Se elaboró un plano con base en la actual distribución de la planta Incubadora mediante el software AutoCAD 2018. Como resultado, se detallan los nueve procesos que se realizan en la incubadora. Se determinó que la distribución en la planta incubadora es de procesos y mediante un diagrama relacional se constató que varias de las relaciones entre las operaciones no tienen importancia entre sí. La aplicación del algoritmo CORELAP demostró que, la actual distribución de la incubadora es adecuada. El enfoque presentado en este estudio es susceptible de usarse en la mejora de los niveles de producción de plantas incubadoras.

Palabras clave: Planta de incubación, CORELAP, proceso, diagrama, distribución en proceso

Abstract

The distribution of space causes a high impact on the performance of any industry or process chain. Therefore, the objective of this research was to evaluate the plant distribution of the incubator at Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López using the CORELAP algorithm. The methodology used is based on the SPL method (Systematic Layout Planning). Products were identified to determine the order of material movements through various stages of the process. A plan was prepared based on the current layout of the incubator using AutoCAD 2018 software. As a result, nine processes carried out in the incubator were detailed. It was determined that the distribution in the hatchery is of processes and by means of a relational diagram it was found ouy that several of the relationships between the operations are not important to each other. The application of the CORELAP algorithm showed that the current incubator distribution is adequate. The approach presented in this study can be used to improve hatchery production levels.

Keywords: Hatchery, CORELAP, process, diagram, distribution in process

REVISTA ESPAMCIENCIA

INTRODUCCIÓN

Para Jung y Lee (2019) y Mejía *et al.* (2011) la distribución en planta es la organización física de los factores y elementos que participan en el proceso productivo de la empresa y la determinación de espacios y ubicación de sus distintas secciones. Por su parte, Ejeh *et al.* (2019); Yang y Chih (2007) destacan que la distribución en planta invariablemente tiene un impacto significativo en el rendimiento de un sistema de fabricación o industria de servicios y, en consecuencia, ha sido sujeto de investigación activa durante varias décadas.

El problema del proceso de distribución en la planta implica decisiones relacionadas con la asignación espacial de los elementos del equipo y las conexiones necesarias entre ellos (De Lira, *et al.,* 2019; Patsiatzis y Papageorgiou, 2002). Por lo general, estas decisiones de distribución de la planta se ignoran o no reciben la atención adecuada durante el diseño o la modernización (Akhila y Deepthia, 2019; Ning *et al.*, 2019).

Latifi *et al.* (2017); Guirardello y Swaney (2005) recalcan que la distribución cuidadosa de los equipos y materiales en una planta incubadora es importante desde un punto de vista económico, así como por razones de seguridad, operativas y de mantenimiento.

La incubadora de pollos Broiler (BB) de la ESPAM MFL, inició actividades en el año 2008 con 2350 pollos de raza Ross 308. Actualmente, la incubadora produce 2500 pollitos BB mensualmente y cuenta con cuatro trabajadores. En tal sentido, infiriendo que la distribución de las instalaciones del establecimiento en estudio es la más conveniente, se planteó como objetivo evaluar la distribución del espacio en la planta incubadora ESPAM MFL mediante el algoritmo CORELAP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se realizó en el campus politécnico de la ESPAM MFL, localizada en el sitio El Limón, parroquia Calceta, cantón Bolívar-Manabí, en las coordenadas 0049’27,9’’S; 80°10’47.2’’O, a 15 msnm.

Figura 1. Ubicación de la Planta Incubadora de pollitos BB ESPAM MFL

Para el desarrollo de esta investigación se empleó el método analítico, atendiendo a la naturaleza descriptiva de la misma; empleándose técnicas como entrevistas y recolección de datos *in situ*. Además, se aplicó el método SLP (Systematic Layout Planning) desarrollado por Muther (1968).

Procedimiento

El desarrollo de esta investigación se realizó acorde a las etapas descritas a continuación:

Determinación del flujo de proceso y tiempos requeridos en cada una de las actividades que se realizan en la Incubadora ESPAM MFL

Se realizó un análisis del recorrido de los productos, que implica la determinación de la secuencia de los movimientos de los materiales a lo largo de diversas etapas del proceso, utilizando la simbología propuesta por Muther (1968) que se especifica a continuación:

Cuadro 1. Símbolos para realizar un diagrama de procesos

Símbolo	Tipo de acción	Resultado predominante
	Operación	Producir o realizar
	Transporte	Desplazar
	Control	Verificar
	Espera	Interferir
	Almacenaje	Conservar
	Combinada	Indica varias actividades simultáneas

Fuente: Muther (1968)

Dado que este diagrama no es un factor que determina el emplazamiento del proceso de operaciones, simplemente indica sobre un gráfico la secuencia de operaciones, determinando cuáles son los departamentos que necesitan estar próximos (González, 2002). Se realizó un análisis de las relaciones entre actividades según lo propuesto por Muther (1968) mediante el cual se integró las actividades y procesos. Esto permitió evaluar la importancia de la proximidad entre las actividades, apoyándose sobre una codificación apropiada.

Así mismo, se identificaron las corrientes residuales de la incubadora.

Elaboración de un plano de la distribución en planta de la incubadora ESPAM MFL

Después de identificar cada uno de los procesos realizados en la incubadora de pollitos BB ESPAM MFL se realizó un análisis para las actividades de producción en general, en el que se incluyó los procesos y el tiempo (Ojagh *et al.,* 2005). Después, se elaboró un plano de la actual distribución en planta utilizando el software AutoCAD 2018 (Autodesk, 2018).

Evaluación de la distribución en planta de la Incubadora ESPAM MFL

Para evaluar la actual distribución en planta de la incubadora de pollitos BB ESPAM MFL se empleó el algoritmo CORELAP que Mejía *et al.* (2011) describen como una técnica tradicional utilizada en la construcción de distribuciones cuyo acrónimo significa Computarized Relationship Layout Planning (CORELAP), el cual fue desarrollado en 1967, siendo uno de los pioneros en el campo de la distribución asistida por computador.

En esta metodología se ubican los departamentos de acuerdo con la calificación de cercanía total representada en trayectoria rectilínea, siendo el de mayor relación de cercanía situado en el centro de la disposición y como regla de desempate siempre se selecciona el departamento de área más grande (Mejía *et al.,* 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante recorridos guiados en la incubadora de pollitos BB ESPAM MFL se determinó que dicha instalación posee el ordenamiento mostrado a continuación:

Cuadro 2. Secuencia de actividades de la Incubadora de Pollos BB ESPAM MFL.

Número	Actividad u operación	Área (m^2)
1	Recepción de huevos	21,53
2	Clasificación de huevo fértil	17,24
3	Sala de frío	16,30
4	Incubadora	20,11
5	Nacedora	14,00
6	Clasificación y vacunación de pollitos	19,50
7	Embalaje	19,17

Con la información obtenida se elaboró el diagrama de procesos (Figura 2).

Dicho diagrama, muestra que el tipo de distribución en planta de la incubadora es una distribución por procesos o como mencionan Okpala y Chukwumuanya (2016) conocida también como distribución funcional, este tipo de distribución es muy adecuada para aplicaciones donde los productos que se obtienen de las materias primas y el trabajo en curso implican grandes variaciones durante el procesamiento de las operaciones individuales. Muther (1968) recalca que esta distribución es muy útil en situaciones donde el proceso de producción está estructurado en lotes ya que los diferentes productos están organizados para moverse de un área a otra, en función de la sucesión de operaciones.

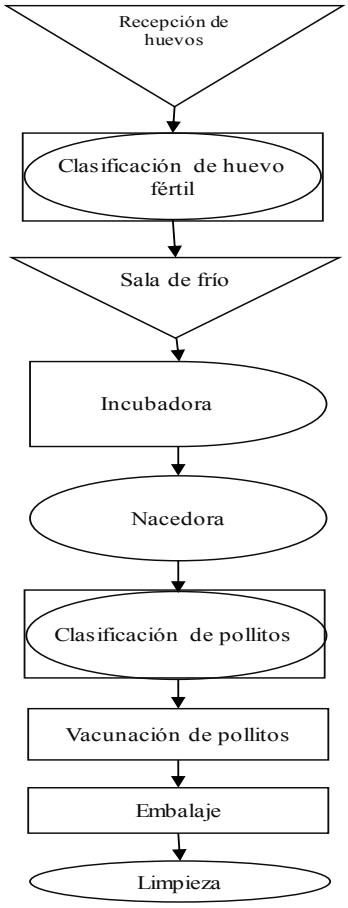

Figura 2. Diagrama de procesos de la Incubadora de pollitos BB ESPAM MFL

Además, se elaboró el diagrama relacional de la incubadora (Figura 3). El cual muestra que varias de las relaciones entre las operaciones de la incubadora no tienen importancia. Sin embargo, aquellas que son fundamentales se encuentran en prioridades adecuadas (absolutamente necesario o especialmente necesario).

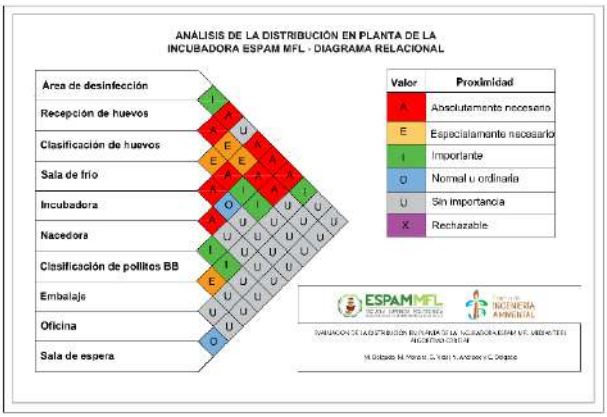

Figura 3. Diagrama relacional Incubadora de pollitos BBB ESPAM MFL

Tal como mencionan Ali *et al.* (2016) mediante el diagrama relacional establece la decisión de posicionamiento relativo entre las áreas funcionales; además, ofrece una visión general de la relación de cercanía junto con restricciones prácticas y actúa como prioridad para las alternativas de diseño.

Para realizar el plano de la distribución en planta de la Incubadora ESPAM MFL se recopilaron datos de la producción mensual de la incubadora. El tiempo de entrega de un lote de pollitos BB es de 39 días; a continuación, se muestran los tiempos en cada uno de los procesos (Cuadro 3):

Cuadro 3. Tiempos de las operaciones unitarias en la incubadora

Número	Actividad u operación	Tiempo (días)
3	Sala de clasificación de huevo fértil	12
4	Sala de frío	5
5	Incubadora	19
6	Nacedora	2
7	Sala de clasificación y vacunación de pollitos BB	0,5
8	Sala de embalaje	0,5

En la actualidad, la incubadora recepta 5040 huevos cada 15 días, teniendo una producción de pollitos final de aproximadamente 2500 pollitos mensuales, en dicha producción se generan las corrientes residuales descritas a continuación:

En la incubadora de pollos ESPAM MFL no existe gestión de desechos sólidos, éstos son recolectados por el servicio municipal. Según estimaciones de Delgado *et al.* (2013) los desechos biológicos son lo que se producen en mayor porcentaje (93%) y se genera un 7% de desechos comunes (cartón, papel, cinta de embalaje, etcétera). También se generan desechos peligrosos (jeringas y envases de productos veterinarios vacíos) en un mínimo porcentaje (Figura 4).

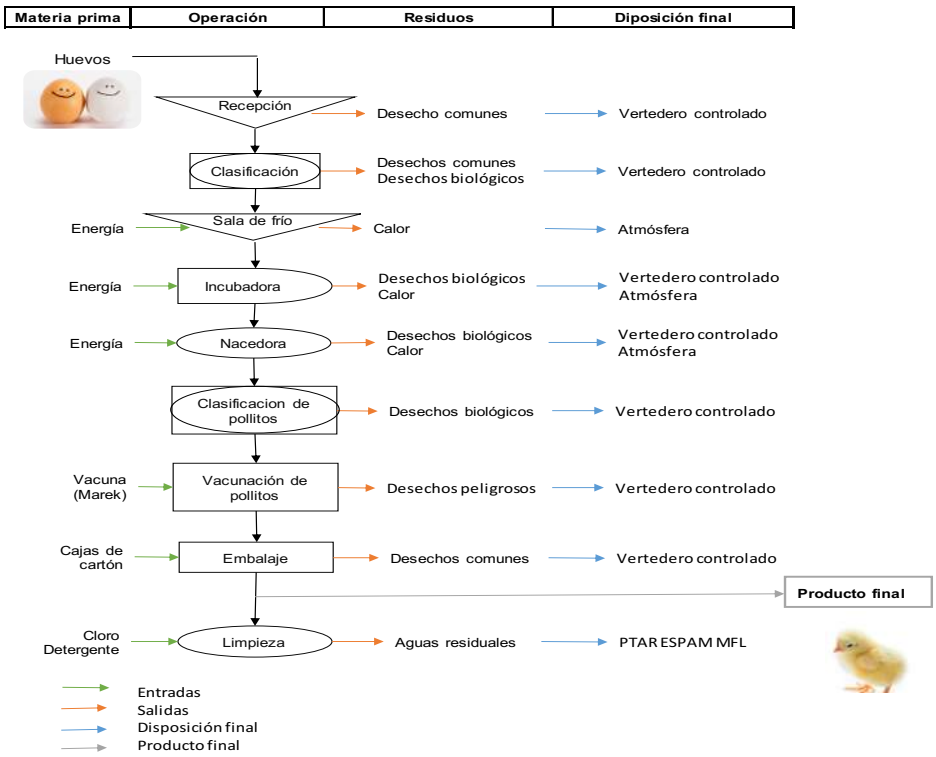

Figura 4. Corrientes residuales identificadas en la producción de la Incubadora ESPAM MFL

Todos estos desechos se colocan en contenedores para que la recolección municipal realice la disposición final de los mismos.

En cuanto a las aguas residuales generadas, cabe recalar que la ESPAM MFL posee una planta de tratamiento (PTAR) para disminuir la carga contaminante de todas sus actividades; por lo que, la planta incubadora de la ESPAM vierte los residuos líquidos en dicha planta.

Las corrientes residuales se incluyeron en el plano realizado (Figura 5).

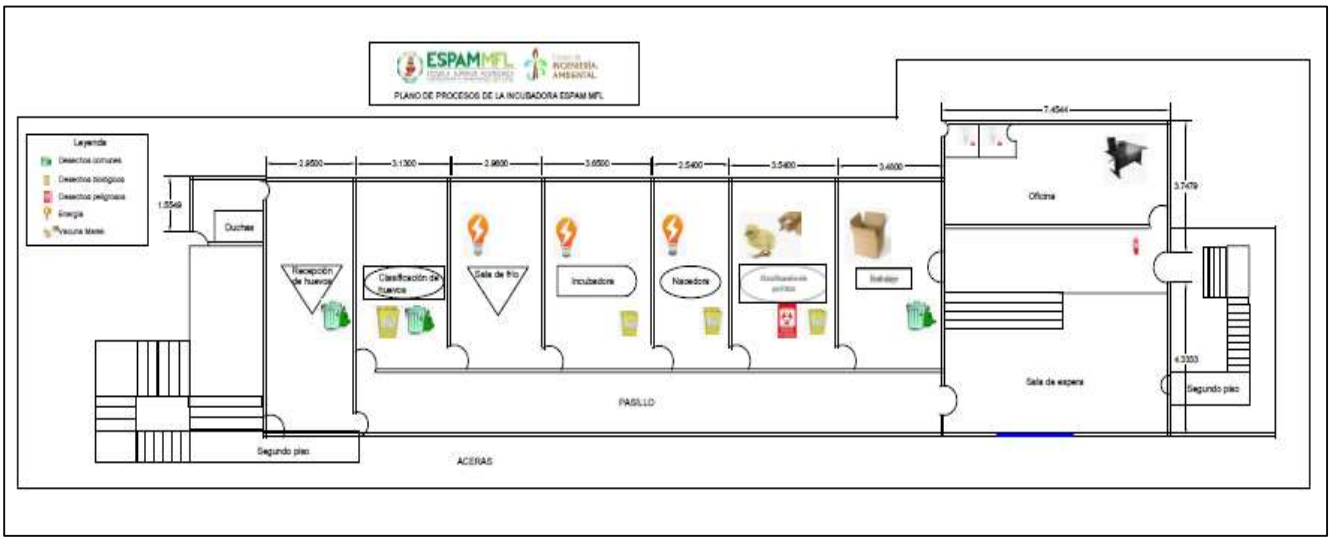

Figura 5. Plano de la Incubadora ESPAM MFL

La evaluación de la actual distribución en planta de la incubadora de pollito BB ESPAM mostró que la superficie requerida para las instalaciones de la incubadora es de 186,66 m^2 y su distribución ideal, de acuerdo al orden de importancia de los departamentos en función de la afinidad con todos los demás, sería:

Cuadro 4. Distribución ideal CORELAP

Orden	Actividad u operación	TCR
1	Recepción de huevos	30
2	Clasificación de huevo fértil	28
3	Sala de frío	26
4	Incubadora	26
5	Nacedora	24
6	Clasificación y vacunación de pollitos	24
7	Embalaje	24

*TCR (total closeness rating)

La distribución gráfica según CORELAP sería (Figura 6):

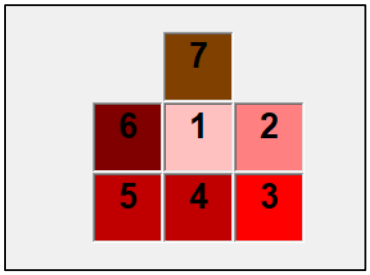

Figura 6. Layout adecuado CORELAP

Aunque el algoritmo CORELAP es útil para lograr un aprovechamiento máximo del espacio disponible, al aplicarlo a la planta incubadora de la ESPAM MFL mostró que el cuarto de recepción de huevos queda rodeado de los demás cuartos de procesos. Y según Vaca (2003) es conveniente que el área de descarga o cuarto de recepción de huevos esté cerca de la entrada de la planta para que los vehículos que transportan los huevos recorran el menor trecho posible dentro de las instalaciones ya que pueden ser considerados como principales focos de contaminación.

Se evidencia que la distribución por procesos de la incubadora es adecuada y aunque se podrían optimizar los niveles de producción, la distribución actual no es un limitante.

CONCLUSIONES

El análisis realizado en la incubadora de pollitos BB ESPAM MFL, muestra la pertinencia de la distribución por procesos que esta posee. La aplicación del algoritmo CORELAP demostró que, en el caso de la incubadora, una distribución por afinidad entre departamentos no es adecuada, pues no se ubica el cuarto de recepción de huevos cerca a la entrada de la planta. El enfoque presentado en este estudio es susceptible de usarse en la mejora de los niveles de producción de plantas incubadoras.

LITERATURA CITADA

Akhila, P., y Deepthia, Y. 2019. A case study of Spinning Industry plant layout for effective production. India. Materials Today: Proceedings, 16:694–698.

Ali, S., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., y Shehzad, M. 2016. Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. Pakistan. Cogent Engineering, 3:1-13.

Autodesk Inventor. 2018. AutoCAD. Disponible en: https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR

De Lira, J., López, A., Gutiérrez, C., y Vázquez, R. 2019. Optimal plant layout considerating the safety instrumented system design for hazardous equipment. México. Process Safety and Environmental Protection, 124: 97-120.

Delgado, M., Palacios, A., y González, J. 2013. Evaluación del desempeño ambiental de plantas incubadoras. Casos estudios: planta Incubadora de la carrera de pecuaria ESPAM MFL. II Evento Internacional "La Universidad en el Siglo XXI" Calceta-Ecuador:

Ejeh, J., Liu, S., y Papageorgiou, L. 2019. Optimal multi-floor process plant layout with production sections. Chemical Engineering Research and Design, 137. DOI 488–501. doi: 10.1016/j.cherd.2018.07.018

González, L. 2002. Análisis de eficiencia y determinación de tiempos y movimientos de una planta incubadora. Honduras. Zamorano.

Guirardello, R., y Swaney, R. 2005. Optimization of process plant layout with pipe routing. Madison-EEUU. Computers and Chemical Engineering, 30: 99–114.

Jung, B. y Lee, C. 2019. Plant and blast wall optimization with the consideration of operating conditions and potential explosions. Process Safety and Environmental Protection, 132: 285–293.

Latifi., S., Mohammadi, E., y Khakzad, N. 2017. Process Plant Layout Optimization with Uncertainty and Considering Risk. Iran. Computers and Chemical Engineering. 106:224-242

Mejía, H., Wilches, M., Galofre, M., y Montenegro, Y. 2011. Aplicación de metodologías de distribución de plantas para la configuración de un centro de distribución. Pereira-Colombia. Scientia et Technica, 16(49): 63-68.

Muther, R. 1968. Planificacion y proyeccion de la empresa industrial (método SLP). España. Editores tecnicos asociados, s. a.

Ning, X., Qi, J., Wu, C., y Wang, W. 2019. Reducing noise pollution by planning construction site layout via a multi-objective optimization model. China. Journal of Cleaner Production. 222:218-230.

Ojagh, Y., Khademi, A., Yusof, N., Renani, N., Helmi, S., y Hassan, S. 2005. Production Layout Optimization for Small and Medium Scale Food Industry. Malasia. Procedia CIRP. 26: 247-251.

Okpala, C., y Chukwumuanya, O. 2016. Plant layouts' analysis and design. Nigeria. International Journal of Advanced Engineering Technology. 7:201-206.

Patsiatzis, D., y Papageorgiou, L. 2002. Optimal multi-floor process plant layout. Londres-Inglaterra. Computers and Chemical Engineering. 26: 575–583.

Vaca, L. 2003. Producción Avícola. Costa Rica: EUNED.

Yang, T., y Chih, H. 2007. Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. Taiwan. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 23:126–137.